

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Institut dopravy**

**Dislokace dopravních prostředků při obsluze požadavků v  
dopravní síti**

**Vehicles Dislocation Operating Requirements in  
Transport Network**

**Student:**  
**Vedoucí diplomové práce:**

**Bc. Vladimír Huňář**  
**Ing. Michal Kreml**

**Ostrava 2013**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Vladimír Huňář**

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2301T003 Dopravní technika a technologie

Specializace:

20 Silniční doprava

Téma:

Dislokace dopravních prostředků při obsluze požadavků v dopravní síti  
Vehicles Dislocation Operating Requirements in Transport Network

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Motivace – analýza aktuálního stavu
3. Definování problému
4. Návrh metody řešení a její specifikace
5. Tvorba řešícího nástroje
6. Analýza vstupních údajů
7. Experimenty s řešícím nástrojem.
8. Zhodnocení dosažených výsledků a doporučení
9. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Daněk J., Teichmann D. Optimalizace dopravních procesů. Vyd. 1. Ostrava. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 191 s. ISBN 80-248-0996-6  
Xpress-Mosel Reference manual: Release 2.4. Dash Optimization. 2008, 1, p. 1-382.  
Xpress-Mosel User guide: Release 2.4. Dash Optimization. 2008, 1, p. 1-162.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Krempel**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo –diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....  
Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Vladimír Huňář

Adresa trvalého pobytu autora práce: Veřovice 313, 742 73

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Ing. Michalu Kremplovi, především za konzultace a odborné rady, které jsem mohl zúročit při psaní tohoto textu. Dále pak společnosti AWT a.s. za poskytnutí dat potřebných k vypracování této práce.

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Huňář, V. *Dislokace dopravních prostředků při obsluze požadavků v dopravní síti*: diplomová práce. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2013, 61 s. Vedoucí práce: Krempel, M.

Diplomová práce se zabývá dislokací dopravních prostředků při obsluze požadavků v dopravní síti. Cílem je navrhnout vhodný nástroj pro automatizované řešení problému rozmístění vozidel v dopravní síti s cílem dosažení optimálního řešení. První část práce se zabývá definováním problému a volbou vhodného řešícího nástroje. V druhé části jsou pak vytvořeny dva lineární matematické modely a následně získána data potřebná pro optimalizační výpočet. Součástí práce je implementace matematických modelů do prostředí softwaru Xpress – IVE a jeho řešení. Závěr práce obsahuje zhodnocení výsledků a doporučení řešitele.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

Huňář, V. *Vehicles Dislocation Operating Requirements in Transport Network*: Master Thesis. Ostrava : VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2013, 61 p. Thesis head: Krempel, M.

Diploma thesis occupies with deployment of means of transport by operating requirements in the traffic grid. The aim is to propose a suitable instrument for automated solution of means of transport deployment in the traffic grid issue with the aim of reaching the optimal solution. The first part of the thesis occupies with defining the problem and choosing the suitable solving instrument. In the second part are two linear mathematical models created and subsequently data needed for optimizing the calculation are acquired. Implementation of mathematical models and its solution into the Xpress - IVE software interface is a part of the thesis. The conclusion of the thesis contains the assessment of the results and recommendation from the solver.

## Obsah

1. Úvod .....	8
2. Motivace .....	10
3. Definování problému .....	16
3.1 Definice pojmů .....	16
3.2 Popis vybrané dopravní sítě .....	17
3.4 Ekonomický význam práce .....	19
4. Návrh metody řešení a její specifikace .....	22
4.1 Vhodné matematické modely lineárního programování .....	24
5. Tvorba řešícího nástroje .....	27
5.1 Model minimalizující náklady (I) .....	28
5.1.1 Popis modelu I .....	28
5.1.2 Celkový model .....	31
5.1.3 Zápis matematického modelu do jazyka MOSEL .....	32
5.2 Model maximalizující zisk (II) .....	33
5.2.1 Popis modelu II .....	33
5.2.2 Celkový model .....	37
5.2.3 Zápis matematického modelu do jazyka MOSEL .....	38
6. Analýza vstupních údajů .....	39
6.1 Matice vzdáleností (označení v modelu $c_{ij}$ ) .....	39
6.2 Fixní náklady (označení v modelu $f$ ) .....	41
6.3. Náklady na ujetí 1 jednotky vzdálenosti (označení v modelu $m$ ) .....	44
6.4 Náklady na přepravu jedné přepravní jednotky na jednotku vzdálenosti (označení v modelu $q$ ) .....	45
6.5 Průměrné denní požadavky zákazníků (označení v modelu $n_j$ ) .....	46
6.6 Průměrná vzdálenost mezi jednotlivými zákazníky (označení v modelu $p$ ) .....	46
7. Experimenty s řešícím nástrojem .....	49
7.1 Experimenty s modelem I .....	49
7.2 Experimenty s modelem II .....	51
8. Zhodnocení dosažených výsledků a doporučení .....	55
9. Závěr .....	57

## **Seznam použitých značek a symbolů:**

AWT – Advanced World Transport a.s.

ČEZ – České energetické závody

OKD – Ostravsko-karvinské doly

tkm – tunokilometry

Z1 – Z12 – zákazníci 1 - 12

S1 – S9 – střediska 1 - 9

LU – Lokační úloha

DUFS – Dopravní úloha s fixními sazbami



## 1. Úvod

Doprava patří mezi významné části národního i světového hospodářství. Jedním z jejich základních úkolů je zajišťovat přepravu zboží a osob. Přeprava osob je realizována za účelem přemístění lidí do zaměstnání, za vzděláním, zábavou a z dalších důvodů. Přeprava zboží je prováděna z obdobných důvodů, jedná se zejména o přemístění surovin z míst těžby, polotovarů mezi průmyslovými podniky a hotových výrobků k zákazníkům do míst poptávky.

Při realizaci přepravních procesů dochází k výrazným nerovnoměrnostem mezi poptávkou po přepravě od zákazníků a nabídkou přepravních kapacit dopravců. Tyto nerovnoměrnosti se projevují ve dvou rovinách: v čase a v prostoru. Časová nerovnoměrnost spočívá v kolísání nabídky a poptávky v jednotlivých cyklech v rámci dne (dopravní a přepravní špička a sedlo), týdne (víkendové sedlo, pondělní a páteční špička), měsíce a roku (státní svátky, školní prázdniny). Prostorovou nerovnoměrností rozumíme nesoulad mezi místem poptávky po přepravě a místem umístění přepravních kapacit. Uvedené nerovnoměrnosti významně ovlivňují realizaci přepravních procesů, vyžadují po dopravci realizovat neproduktivní jízdy (bez nákladu, bez cestujících) za účelem přemístění přepravních kapacit (dopravních prostředků) do míst poptávky.

Základní úlohou každého podniku, dopravce nevyjímaje, je hospodařit za účelem zisku. Tato snaha se projevuje v maximalizaci počtu jízd dopravních prostředků se zátěží, s cestujícími a minimalizací počtu sice nezbytných, ale neproduktivních jízd bez zátěže, bez cestujících.

Mezi důležité úkoly dopravce, resp. jeho dispečerského aparátu je rozmístit dopravní prostředky efektivně tak, aby byly schopny obsloužit požadavky přepraveců při realizaci minima neproduktivních jízd. V praxi jde o určení místa, kde budou dopravní prostředky umístěny na začátku směny a analogicky o určení místa odstavení na konci směny.

V současné době nejsou pro řešení tohoto důležitého úkolu používány dopravci moderní výpočtové nástroje pro efektivní řešení uvedeného problému. Proto je cílem této práce navrhnout nástroj, který by umožnil dopravcům, na základě specifikovaných kritérií, automatizovaným způsobem navrhnout rozmístění dopravních prostředků v dopravní síti na začátku směny.

## 2. Motivace

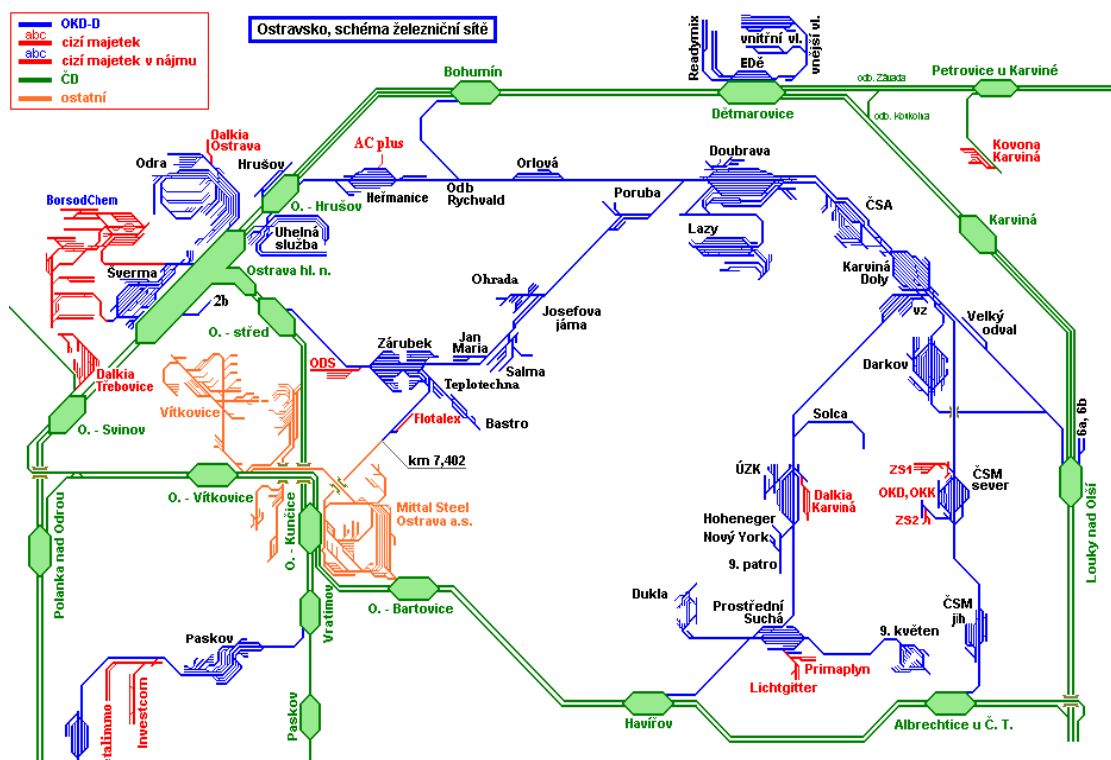
Základním úkolem dopravce je uspokojit požadavky zákazníků na přepravu zboží nebo osob. Za tímto účelem má dopravce k dispozici dopravní prostředky a zaměstnance, kteří organizují jízdy vozidel nebo přímo vozidla řídí.

Pokud má být plnění požadavků zákazníků ekonomicky co nejrentabilnější, je nezbytné vhodným způsobem rozmístit dopravní flotilu v dopravní síti tak, aby byly minimalizovány náklady na přemístění dopravních prostředků do místa přepravního požadavku (místo nástupu cestujících, místo nakládky). Jedná se o jízdu dopravního prostředku z garáží nebo z depa na výchozí zastávku spoje nebo do místa nakládky zboží. Je logické, že cílem je umístit dopravní prostředek přímo do místa poptávky. V praxi však toto často není možné z následujících důvodů:

- počet míst poptávky je vyšší, než počet dopravních prostředků, požadavky zákazníků jsou vyřizovány postupně, je klíčové identifikovat prioritní požadavky,
- umístění dopravního prostředku do místa poptávky není možné z technických důvodů, dopravce zde nemá k dispozici servisní zázemí, tankovací místo, prostory pro zaměstnance apod.,
- místa poptávky jsou umístěna mimo síť s dopravní obslužností, zaměstnanci nemají možnost se veřejnou dopravou do zaměstnání přepravit,
- místo poptávky je umístěno v oblasti s vysokou mírou kriminality, riziko ekonomických ztrát při ponechání vozidla bez dozoru je vysoké,
- apod.

Dopravci nemají v dnešní době k dispozici nástroj pro podporu rozhodování o rozmístění dopravní flotily při ukončení směny, resp. určení místa, kde se mají vozidla nacházet na začátku směny tak, aby mohla co nejdříve plnit požadavky zákazníků, tedy aby se nacházela co nejbližší místům nástupu cestujících nebo nakládky zboží v dopravní síti.

Příkladem takovéto dopravní sítě jsou vlečky společnosti Advanced World Transport a.s. (dále AWT), jejichž schéma je na obrázku č.1.



Obrázek č.1<sup>1</sup> Schéma vleček AWT a.s.

V této dopravní síti jsou provozovány dopravní prostředky, které zajišťují přistavbu prázdného ložného prostoru pro zákazníky (např. OKD a.s.) a zároveň přepravují ložená vozidla k vykládce pro zákazníky (ČEZ – elektrárna Dětmarovice, Dalkia ČR – elektrárna Třebovice, teplárna Karviná, Arcelor Mittal Ostrava a další).

Za účelem posouzení efektivnosti a ekonomické přijatelnosti míst nástupů a ukončení směn zaměstnanců (a vozidel), byla provedena analýza dopravní práce při první jízdě po začátku směny<sup>2</sup>. Posuzována byla následující kritéria:

- zda se první jízda vozidel uskutečňuje v prázdném nebo loženém stavu,
- na jakou vzdálenost se uskutečňuje první jízda,
- jaká přepravní práce (tkm) je vykonána při první jízdě vozidla po nástupu na směnu,
- poměr počtu ujetých km při první jízdě, k celkovému počtu ujetých km za sledované období.

<sup>1</sup> Intranet AWT. AdvancedWorld Transport a.s. [online]. 2013. vyd. Ostrava, 2013 [cit. 2013-01-15]. Dostupné z: <http://intranet/awt.eu> (není dostupné z veřejné sítě)

<sup>2</sup> HUŇAŘ, Vladimír. První jízdy dispečerských lokomotiv na směně: analýza pro AWT a.s. Ostrava, 2012, [cit. 2013-01-15]. nepublikováno.

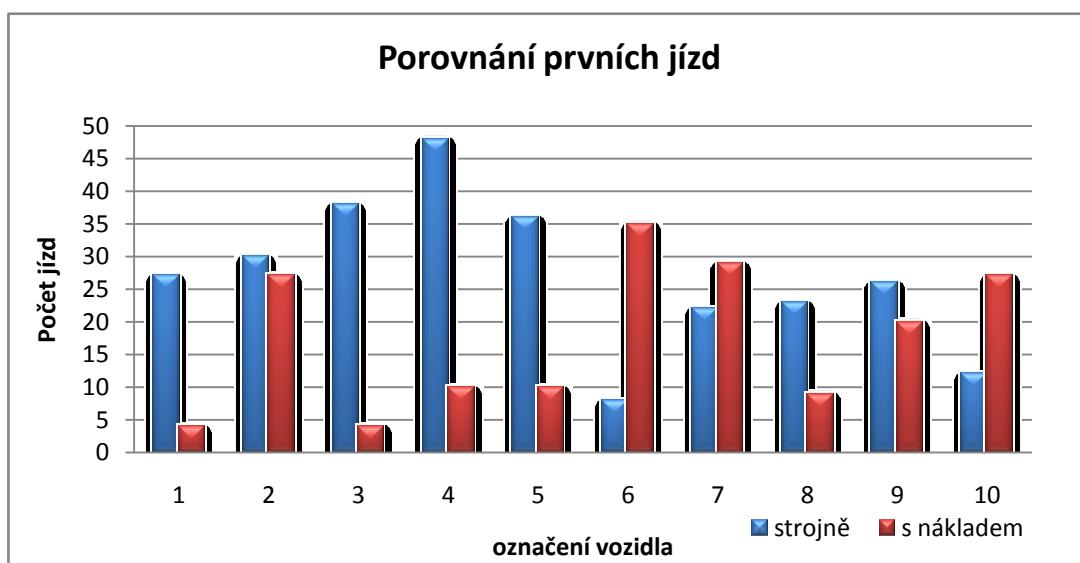
Byla analyzována data získaná z podniku AWT a.s. Jedná se o soubor dat, která popisují denní pracovní výkony deseti vybraných vozidel za jeden kalendářní měsíc. Aby data nebyla zkreslena, vlivem různých přepravních intenzit, v různých částech roku, jsou výsledná data vypočtena jako aritmetický průměr tří vybraných kalendářních měsíců roku 2012.

Úvodním ze sledovaných kritérií, jež byly podrobeny analýze, jsou první jízdy vozidel po nástupu jejich obsluhy na směnu. Rozlišujeme dva základní stavy:

1. jízda probíhá strojně,
2. jízda probíhá s nákladem.

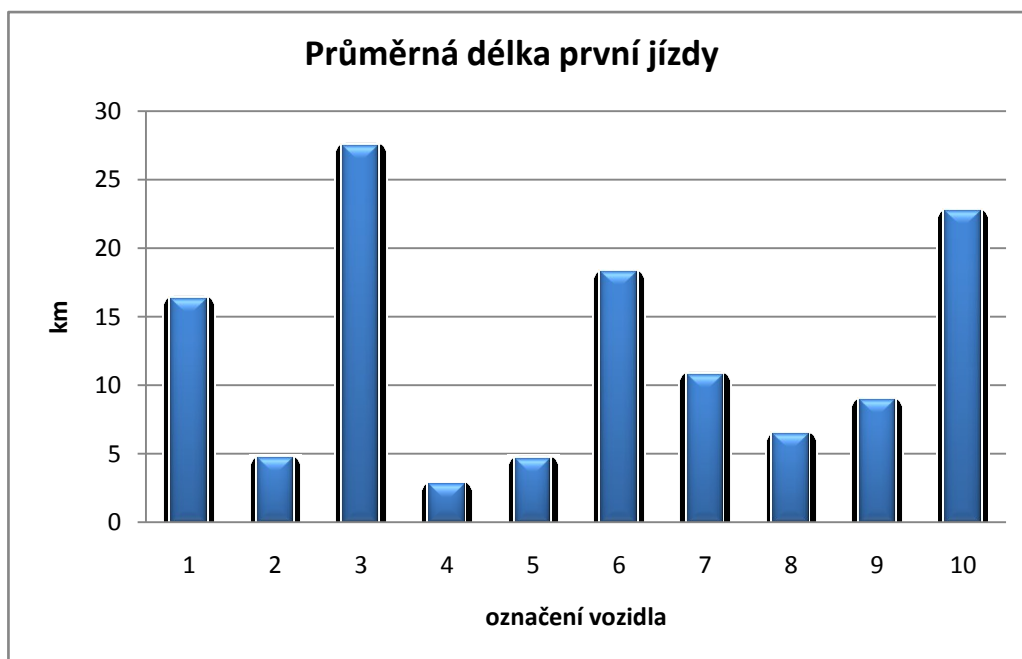
Grafickou interpretaci těchto dat poskytuje graf č.1, který pro každé vozidlo zobrazuje počty jízd, podle toho, jak byly provedeny. Z grafu je patrné, že většina prvních jízd na směně probíhá strojně.

Graf č.1: Porovnání prvních jízd



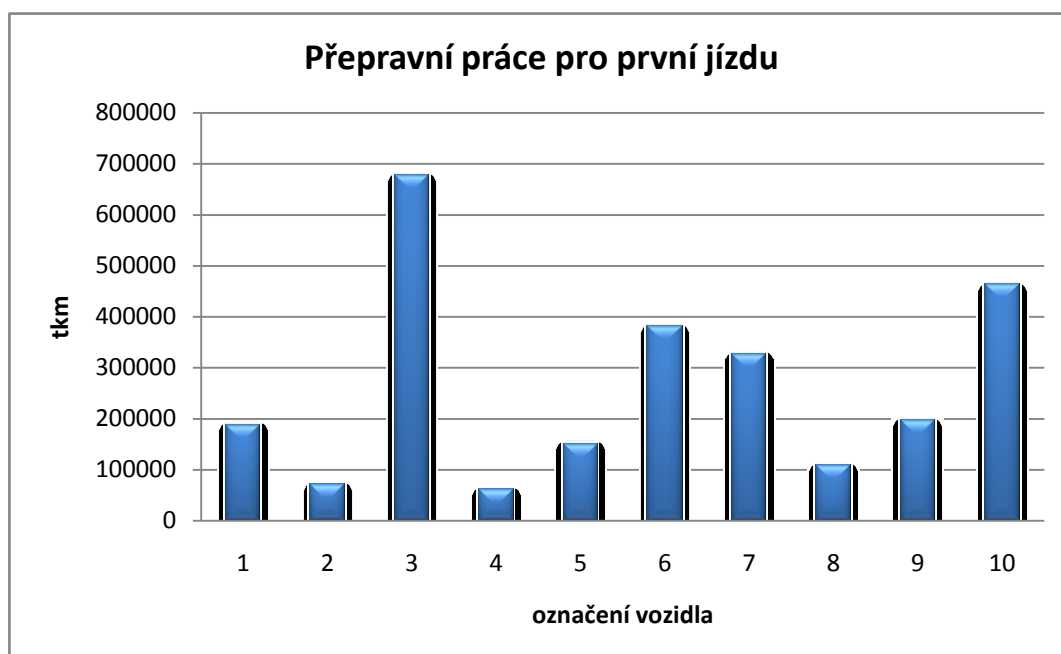
Dalším ze sledovaných parametrů, je vzdálenost, kterou vozidlo ujede při první jízdě ze střediska k zákazníkovi. Ze souboru dat byly zjištěny průměrné hodnoty těchto vzdáleností. Výsledky analýzy jsou zobrazeny v grafu č.2.

Graf č.2: Průměrná délka první jízdy



Jedno z dalších sledovaných kritérií, je přepravní práce (tkm) vykonané při první jízdě vozidla po nástupu na směnu. Výsledky jsou uvedeny v grafu č.3.

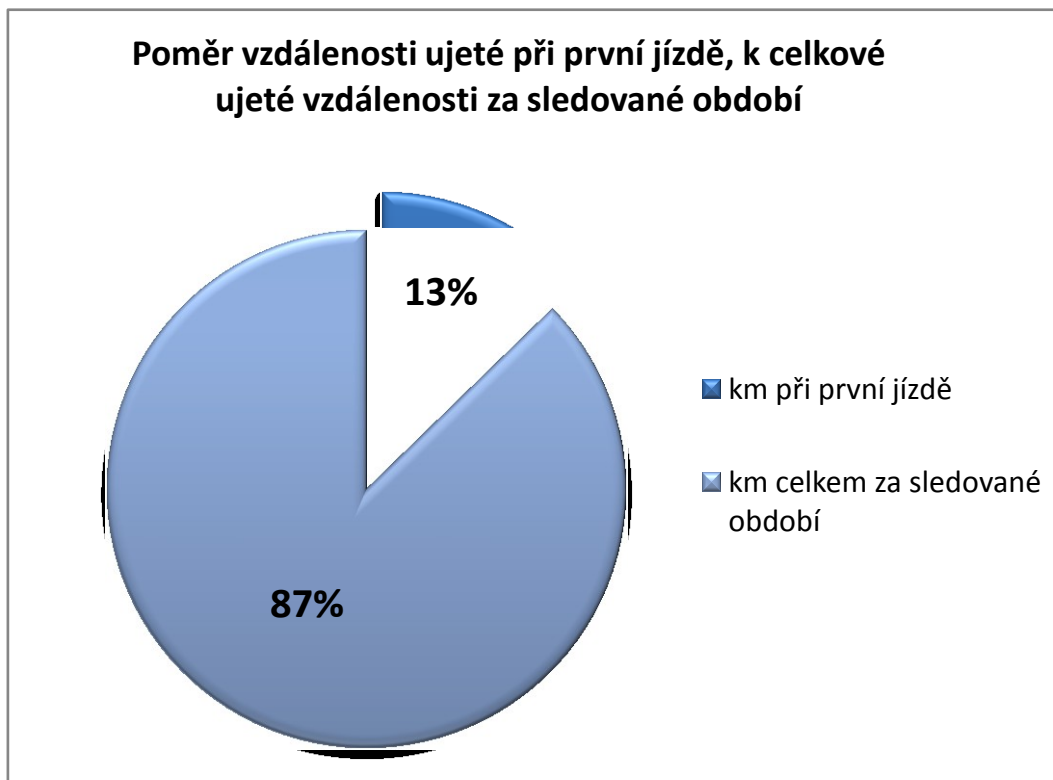
Graf č.3: Průměrná dopravní práce vykonaná při první jízdě



Posledním uvedeným důkazem toho, že správné rozmístění dopravní flotily v dopravní síti může mít kladný vliv na náklady spojené s provozem celého systému, je graf č.4. Ukazuje, jaká část z celkového počtu ujeté vzdálenosti, za průměrný měsíc, připadá na první jízdy na směně. Vzdálenost ujetá při prvních jízdách, je více jak jedna

desetina, z celkového měsíčního nájezdu. Vhodnou dislokací dopravních prostředků do středisek, lze tuto vzdálenost snížit. Od tohoto opatření si slibujeme, že se tím sníží náklady na jízdu k zákazníkovi, čímž se následně může zvýšit zisk.

Graf č.4: Poměr ujetých km



S přihlédnutím k výše uvedeným zjištěním, se jeví jako velmi žádoucí, zabývat se otázkou efektivního rozmístění dopravní flotily v dopravní síti, a to ze dvou elementárních důvodů:

1. Protože čím menší bude počet jízd realizovaných strojně, tím vyšší bude ekonomická rentabilita přepravních činností.
2. Protože čím menší bude vzdálenost od místa, kde je vozidlo odstaveno, k jeho prvnímu zákazníkovi, tím nižší budou náklady na ujetí této vzdálenosti.

Od efektivního rozmístění dopravní flotily AWT ve vlečkové síti si slibujeme dosažení vyšší ekonomické rentability celého dopravního systému, i jednotlivých přeprav.

**Cílem této práce je:**

- navrhnout vhodný nástroj pro automatizované řešení problému rozmístění vozidel v dopravní síti s cílem dosažení optimálního řešení,
- funkčnost vytvořeného nástroje (matematického modelu) validovat a verifikovat na souboru zkušebních dat,
- pro navržený nástroj zpracovat reálná vstupní data z praxe,
- aplikovat matematický model na řešení praktického problému,
- realizovat experimenty s funkčním matematickým modelem,
- zjistit, zda jsou vozidla dopravce AWT rozmístěna v dopravní síti vhodně a formulovat doporučení pro případnou změnu dislokace dopravních prostředků v dopravní síti.

### 3. Definování problému

#### 3.1 Definice pojmů

*Dopravní síť* – obecně je to soustava vzájemně propojených komunikací (dopravních cest) a vrcholů<sup>3</sup>. Dopravní cesty jsou spojením vrcholů a vrchol je místo v grafu, ve kterém dochází ke spojení dvou a více dopravních cest.

*Středisko* – je vrchol dopravní sítě, ve kterém jsou odstavena vozidla před směnou, nebo po skončení směny. V tomto místě tedy nastupují zaměstnanci na směnu, proto musí na tomto místě existovat zázemí pro zaměstnance (šatny, sprchy, odpočinková místnost, atd.).

*Zákazník* – je vrchol dopravní sítě, ve kterém vzniká požadavek na přepravu materiálu. V silniční dopravě se zjednodušeně jedná o místa, kde dochází k nakládce, nebo vykládce vozidel. U železniční dopravy jsou to místa, na kterých jsou připraveny železniční vozy k přepravě, zda jsou plné, nebo prázdné, není pro účel této práce důležité, uvažuje se jen s tím, že je nutné je přepravit.

*Vozidlo* – dopravní prostředek, pomocí kterého je vykonávána přeprava. V silniční dopravě se jedná o nákladní vozidlo, v železniční dopravě jde o hnací kolejové vozidlo.

*Jednotka vzdálenosti* – v matematickém modelu je použita jednotka kilometr (km).

*Přepravní jednotka* – zde udává množství přepravovaného materiálu v jednotkách, které jsou pro zákazníka nejvíce výhodné. V železniční dopravě je výhodné použít jednotku vozy (železniční nákladní vozy). V silniční dopravě pak jednotky objemové (m<sup>3</sup>, l, atd.), nebo hmotnostní (kg, t, atd.).

*První jízda* – je myšlena jízda, která probíhá na směně jako první, a při které vozidlo vyjíždí ze střediska k zákazníkovi, odkud následně uskutečňuje přepravu přepravních jednotek.

*Požadavek* – vzniká u zákazníka, je to žádost zákazníka, aby od něj bylo přepraveno určité množství přepravních jednotek.

*Kapacita vozového parku* – počet vozidel, které má daný dopravce k dispozici, pro vykonávání přeprav v dané dopravní síti.

---

<sup>3</sup>HERCIK, Jan. Dopravní síť. In: [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: [http://geography.upol.cz/soubory/lide/hercik/GEDP/dopravni\\_sit.pdf](http://geography.upol.cz/soubory/lide/hercik/GEDP/dopravni_sit.pdf)

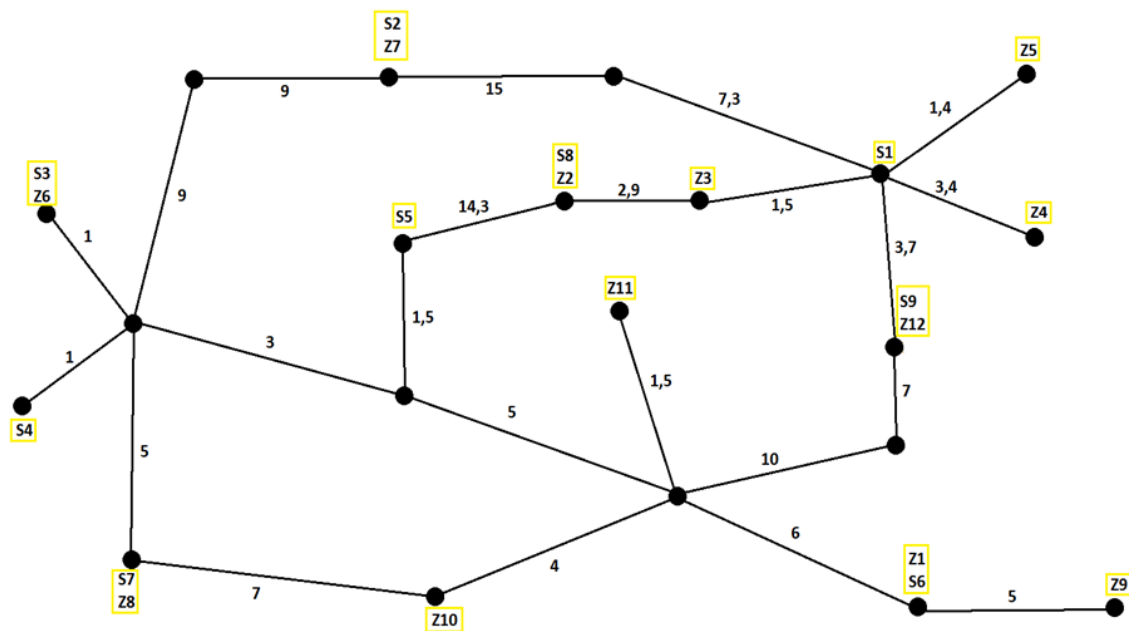


### 3.2 Popis vybrané dopravní sítě

Mezi klíčové vstupní parametry matematického modelu patří bezesporu výběr vhodné dopravní sítě, od které očekáváme, že:

- bude dostatečně složitá na to, aby bylo možné po úspěšné aplikaci matematického modelu s dostatečnou mírou pravděpodobnosti konstatovat, že model je validní. Tedy, že síť obsahuje takové části jako kružnice, stromy, vrcholy s různými stupni apod.
- bude dostatečně jednoduchá na to, aby bylo možno zpracovat všechna související vstupní data s takovou mírou přesnosti, aby bylo možno za validní prohlásit také výsledné řešení – výstup modelu.

Příkladem takové vhodné dopravní sítě, ve které může být řešena úloha rozmístění vozidel, je síť vleček společnosti AWT a.s. Jedná se tedy o reálnou dopravní síť, v níž probíhá dopravní provoz a vozidla jsou již na začátku každé směny pravidelně dislokována. Tento fakt přináší další podstatnou výhodu: řešení navržené modelem bude možno porovnat se současným stavem. Namísto skutečného pojmenování vrcholů, jež patří mezi citlivá ekonomická data společnosti AWT a.s., jsou na obrázku č.2 jednotlivé vrcholy, významné pro tuto práci, označeny symbolicky.



Obrázek č. 2: Mapa vybrané dopravní sítě

V síti se nachází devět vrcholů s označením S1-S9, toto označení symbolizuje, že vrchol je v dané síti střediskem. Jsou v něm tedy odstavena vozidla před tím, než

vyjedou provádět dopravní výkony na jednotlivých směnách a rovněž poté, co skončí s prováděním výkonů na dané směně. Každé středisko v modelu má svoji kapacitu, která vyjadřuje počet vozidel, která mohou být v daném středisku odstavena. Důvodem zohledňování kapacity jednotlivých středisek, jsou omezené prostory odstavných ploch ve střediscích a také omezená velikost budov, ve kterých se nachází sociální zázemí pro pracovníky. Přesné hodnoty kapacit jednotlivých středisek, jsou uvedeny v kapitole 6.1.

Další významné vrcholy, které se v dané síti nacházejí, jsou zákazníci, jejich dvanáct. V modelu jsou označeni symboly Z1-Z12. U zákazníků vznikají před každou směnou požadavky na přepravu přepravních jednotek. Hodnota těchto průměrných požadavků pro každého zákazníka, je určena pomocí analýzy, která je provedena a podrobně popsána v kapitole 6.5.

U některých vrcholů na mapě je uveden symbol S i Z, to znamená, že daný vrchol je zároveň střediskem i zákazníkem. Tato možnost je z hlediska umístění vozu nejvýhodnější, neboť, je-li zákazník zároveň střediskem, vozidlo nemusí k tomuto zákazníkovi přejíždět z jiného střediska, nevznikají tedy náklady spojené s přejezdem a vozidlo ihned z místa kde je odstaveno, vykonává přepravu materiálu.

Poslední označení na této mapce jsou čísla u jednotlivých dopravních cest. Tato čísla představují kilometrickou vzdálenost, mezi jednotlivými vrcholy.

Obecně lze říci, že dopravní síť je reprezentována:

- vrcholy, jež představují střediska a zákazníky. Každému středisku je přiřazena kapacita, která je rovna maximálnímu počtu dislokovaných vozidel. Každému zákazníkovi je přiřazen průměrný počet vozů, které se u něj na začátku směny nacházejí.
- hranami, jež představují dopravní cesty mezi vrcholy. Každé dopravní cestě je přiřazena její délka.

### 3.3 Ekonomický význam práce

Při provozování nákladní dopravy, vznikají dva druhy nákladů fixní a variabilní. Mezi fixní patří náklady, které přímo nesouvisí s jízdou vozidla a vznikají, i ve chvíli, kdy vozidlo nevykonává přepravu. Variabilní náklady jsou pak náklady, které přímo souvisí s jízdou vozidla. V této kapitole budou popsány náklady, se kterými budou počítat oba modely vzniklé v této práci.

Jak bylo řečeno výše, fixní náklady jsou náklady, které nejsou nijak závislé na denních pracovních výkonech vozidel. Jsou to náklady nutné na provoz, údržbu, opravy a pronájem prostor, ve kterých je umístěno zázemí pro zaměstnance (sprchy, šatny, jídelna, odpočinková místnost, atd.). Z fixních nákladů byly brány v úvahu nejvýznamnější z nich, mezi které řadíme:

- voda,
- teplo,
- elektrická energie,
- nájem.

Pod pojmem *voda*, se rozumí náklady spojené se spotřebou vody v jednotlivých střediscích. Každý pracovník během směny spotřebuje určité množství vody, ať už v souvislosti s vykonáváním hygienických potřeb, nebo při přípravě občerstvení.

Další složkou nákladů je *teplo*, tato složka je nejvíce ze všech závislá na ročním období, v zimě je pro vyhřátí prostorů potřeba větší množství tepelné energie, než v létě. Dalším rozdílem může být rozdílnost technologií, použitých pro výrobu tepla v jednotlivých střediscích.

Třetí složkou výše uvedeného vzorce je *elektrická energie*, spotřeba elektrické energie a s ní spojené náklady, které vznikají užíváním elektrických spotřebičů, jako jsou například vařiče, na kterých si pracovníci přehřívají jídlo a vodu. Další složkou je osvětlení využívaných prostor. V neposlední řadě, může být na pracovištích umístěna výpočetní technika, popřípadě různé audiovizuální zařízení, které rovněž spotřebovávají elektrickou energii.

Nedílnou složkou nákladů je *nájem*. Pokud prostory, ve kterých se nachází zázemí pro pracovníky a také prostory, na kterých jsou odstavena vozidla, nejsou majetkem firmy, musí firma platit pronájem za tyto prostory.

Variabilní náklady jsou dalším druhem nákladů, tyto náklady vznikají pohybem vozidla při výkonu přeprav. Pro výpočet těchto nákladů existuje v dopravě kalkulační vzorec. Pomocí kalkulačního vzorce se počítají tzv. přímé náklady, to jsou náklady, které vznikají při pohybu vozidla. Kalkulační vzorec rozděluje přímé náklady do 6 skupin.

#### **Kalkulační vzorec<sup>4</sup>:**

##### **1. Trakční zdroje - člení se na:**

- 11. Trakční palivo: náklady na pevná a tekutá paliva a maziva a mazací oleje pro provoz hnacích vozidel (lokomotiv a motorových, vozů) spotřebované v souvislosti s jejich dopravními trakčními výkony, vč. vytápění vozů v pořízovacích cenách, vč. spotřební daně. Nepatří sem spotřeba pohonných hmot k jiným technologickým účelům,
- 12. Trakční energie: náklady na spotřebu trakční energie pro provoz elektrických hnacích vozidel, vč. energie pro vytápění a osvětlování vlakových souprav.

##### **2. Přímý materiál - bezprostředně spotřebovaný v přepravním provozu**

##### **3. Přímé mzdy**

Mzdové a ostatní mzdová plnění podle platných řádů pro odměňování související s provedením dopravních a přepravních výkonů a ostatních prací a služeb v železničním provozu, které lze stanovit přímým způsobem nebo technickým propočtem na kalkulační jednici výkonu.

##### **4. Přímé odpisy - položka se člení na:**

- 41 přímé odpisy vozidel

---

<sup>4</sup> Říha, Zdeněk. Kalkulace v dopravě [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav ekonomiky a managementu dopravy a telekomunikací, 2013 [cit. 2013-05-03]. ISBN nezjištěno. Dostupné z: [http://k613.fd.cvut.cz/storage/predmety-soubory/14\\_kalkulace\\_v\\_doprave.ppt](http://k613.fd.cvut.cz/storage/predmety-soubory/14_kalkulace_v_doprave.ppt)

- 49 přímé odpisy ostatních technologických uřízení komerčního provozu (jeřáby, zvedací mechanismy, zařízení pro ložné práce apod.)

#### 5. Přímé opravy a udržování

Zahrnují náklady na opravy a udržování zařízení vyjmenovaných v pol. 4. Náklady se člení na:

- 51 přímé opravy a udržování vozidel
- 59 přímé opravy a udržování ostatního hmotného majetku provozu

Obě položky se dále člení na dílčí podpoložky:

- 1 - přímý materiál
- 2 - přímé mzdy
- 3 - zákonné pojištění
- 9 - ostatní náklady

#### 6. Ostatní přímé náklady - člení se na:

- 61 náklady (úhrada) za použití železniční dopravní cesty
- 62 náklady (úhrada) za řízení provozu na dopravní cestě
- 63 zákonné pojištění z pol. 3.
- 64 cestovné
- 69 jiné přímé náklady

#### 4. Návrh metody řešení a její specifikace

Na úlohu dislokace dopravních prostředků v dopravní síti, je možno aplikovat celou řadu výpočetních algoritmů, metod a přístupů. Mezi základní zvažované metody patří následující:

1. počítačová simulace,
2. heuristické metody negarantující optimální řešení,
3. exaktní metody zaručující získání optimálního řešení.

Metodu počítačové simulace používáme zpravidla v těch případech, kde je potřebné zjistit chování systému v jeho jednotlivých stavech nebo v případě takové míry složitosti úlohy, že by použití exaktních metod nebylo v praxi realizovatelné z důvodu dlouhého výpočetního času modelu. Ani jedna z těchto podmínek není u řešeného problému splněna. Jednak požadujeme od řešícího aparátu návrh dislokace, nikoliv popis stávajícího nebo navrženého stavu, a pak není úloha natolik rozsáhlá, aby bylo vyloučeno použití jiných metod.

K aplikaci heuristických metod se ve většině případů přikláníme proto, že předpokládáme nebo prokážeme takovou míru složitosti modelu, jež prakticky znemožňuje nalezení optimálního řešení. Při dislokaci dopravních prostředků v síti vleček AWT a.s. neočekáváme, že by tato situace nastala.

Jako vhodný nástroj řešení předmětného problému, se jeví metody exaktní. Konkrétně bylo zvoleno lineární programování, jehož řešící aparát nabízí takové možnosti, aby bylo možno očekávat dosažení optimálního řešení za rozumnou dobu běhu matematického modelu v solveru. Jako řešící software (solver), byl zvolen Xpress od společnosti FICO. Konkrétně je při řešení použita simplexová metoda, v modelu navíc očekáváme deklaraci celočíselných proměnných, proto bude solver používat také metodu větví a hranic.

Simplexová metoda<sup>5</sup> je výpočetní postup pro určení optimálního řešení úloh lineárního programování. Taková úloha se skládá z účelové funkce, jejíž hodnotu maximalizujeme nebo minimalizujeme, konečného počtu strukturálních podmínek, které rozdělujeme na omezující, jež definují prostor validních řešení, a podmínky obligátní,

---

<sup>5</sup>ŠMEREK, Michal a Jiří MOUČKA. Ekonomicko - matematické metody [online]. Brno: Univerzita obrany, Katedra ekonometrie, 2008 [cit. 2013-04-20]. ISBN 978-80-7231-526-0. Dostupné z: [http://www.mendelu.org/upload//skripta\\_k\\_predmetu.pdf](http://www.mendelu.org/upload//skripta_k_predmetu.pdf)

jež vymezují definiční obor proměnných. Při řešení úlohy vždy nejprve získáme výchozí přípustné řešení. Za tímto účelem soustavu omezujících podmínek upravíme do tzv. kanonického tvaru, pokud se již v tomto stavu nenacházejí. Převědeme soustavu lineárních rovnic do kanonického tvaru, tuto soustavu rovnic vyřešíme, a tím získáme výchozí přípustné řešení příslušné úlohy. Testem optimality zjistíme, zda dané základní řešení je optimální. V případě, že výchozí základní přípustné řešení je optimální, algoritmus končí. Pokud tomu tak není, nalezneme lepší přípustné řešení úlohy, tj. řešení s vyšší hodnotou účelové funkce u maximalizační úlohy, resp. řešení s nižší hodnotou účelové funkce u minimalizační úlohy. Na toto lepší řešení opět aplikujeme test optimality, což opakujeme až do doby, než je optimální řešení nalezeno. Počet základních řešení je konečný, proto po konečném počtu kroků dospějeme k optimálnímu řešení.

Metoda větví a hranic<sup>6</sup>: Jsou dány množiny  $X_1, X_2, \dots, X_n$  a množina přípustných řešení  $A \subset X_1 \times X_2 \dots X_n$  daných omezujícími podmínkami a účelová funkce  $f: A \rightarrow \mathbb{R}$ . Cílem je najít takové přípustné řešení  $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in A$ , pro které  $f$  nabývá maximální (minimální) hodnotu.

Metoda větví a mezí používá strategii hledání do hloubky v tzv. stromu problému (stromu řešení), který je postupně vytvářen. Kořen stromu odpovídá případu, kdy žádným rozhodovacím proměnným nejsou přiřazeny hodnoty a horní (dolní) mez řešení odpovídá jejich max. (min.) hodnotách. Kořen rozvětvíme podle možných hodnot první nefixované rozhodovací proměnné a pro získané následníky určíme příslušnou horní mez ( $f \rightarrow \max$ ), resp. dolní mez ( $f \rightarrow \min$ ) dosazením max. (min.) hodnot nefixovaných proměnných. Tito následníci představují kandidáty větvení. Ze všech kandidátů větvení rozvětvíme toho, který má největší horní (nejmenší dolní) mez a přitom pro fixované hodnoty rozhodovacích proměnných není porušena žádná omezovací podmínka. Bude-li pro některého kandidáta větvení jeho horní mez nižší (dolní mez vyšší), než dosud největší (nejmenší) nalezená hodnota  $f$  přípustného řešení, pak příslušný podstrom stromu problému dále nerozvětvujeme. V rozvětvování (a tím fixování dalších rozhodovacích proměnných) pokračujeme, dokud existují kandidáti větvení.

---

<sup>6</sup>ŠEDA, Miloš. Teorie grafů [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky, 2003 [cit. 2013-04-20]. ISBN nejištěno. Dostupné z: [http://www.uai.fme.vutbr.cz/~mseda/TG03\\_MS.pdf](http://www.uai.fme.vutbr.cz/~mseda/TG03_MS.pdf)

## 4.1 Vhodné matematické modely lineárního programování

V následujícím textu budou podrobněji charakterizovány některé z vhodných matematických modelů publikovaných dříve v odborné literatuře. Jedná se o:

1. Úlohu o vyhledání mediánu dopravní sítě (p-median Problem)<sup>7</sup>
2. Úlohu o vyhledání centra dopravní sítě (p-center Problem)<sup>8</sup>
3. Alokační úloha (Allocation Problem)<sup>9</sup>
4. Lokační úloha (Location Problem)<sup>10</sup>
5. Dopravní úloha s fixními sazbami (Transportation Problem with fixed Rates)<sup>11</sup>

První z možností rozmístění vozidel v dopravní síti, je umístění všech vozidel do jednoho střediska. Existují dva nejznámější možné přístupy pro řešení tohoto problému. Prvním je *Úloha o vyhledání mediánu dopravní sítě*, medián je vrchol, ze kterého je součet vzdáleností ke všem ostatním vrcholům sítě minimální. Použitím této úlohy by byl nalezen jeden bod, do kterého by bylo umístěno středisko a odstaveny všechny vozy. Druhý podobný způsob řešení, je pomocí *Vyhledání centra dopravní sítě*, centrem rozumíme bod, ze kterého je vzdálenost k nejvzdálenějšímu vrcholu sítě minimální. Opět by byl určen v síti jeden bod, ve kterém by bylo umístěno středisko. Pro potřeby této diplomové práce, není použití ani jednoho z těchto dvou řešení optimální.

Další dvě sobě velmi podobné úlohy, které je možné k vyřešení daného problému použít, jsou *Alokační úloha* a *Lokační úloha* (dále LU). Tyto dvě úlohy řeší zásobování zákazníků ze skladů, rozdíl mezi úlohami, je jen ve fixních nákladech. U *Alokační úlohy* ještě nejsou sklady vybudovány a model rozhoduje, v kterých vrcholech budou sklady vybudovány a následně jim přiřazení zákazníci, tudíž počítá s náklady nutnými na vybudování skladu. Zatímco u *LU* je již pevně určeno, ve kterých vrcholech se sklady nacházejí, a jde jen o to, přidělit jednotlivé zákazníky, jednotlivým skladům, fixní

---

<sup>7</sup>JANÁČEK, Jaroslav. ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINĚ. *Modelovanie a optimalizácia: Úloha P-median*. Přednášky pro studenty. Žilina, [cit. 2013-04-20]. 2008.

<sup>8</sup>JANÁČEK, Jaroslav. ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINĚ. *Modelovanie a optimalizácia: Úloha P-centrum*. Přednášky pro studenty. Žilina, [cit. 2013-04-20]. 2008.

<sup>9</sup>JANÁČEK, Jaroslav. ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINĚ. *Modelovanie a optimalizácia: Alokační úloha*. Přednášky pro studenty. Žilina, [cit. 2013-04-20]. 2008.

<sup>10</sup>JANÁČEK, Jaroslav. ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINĚ. *Modelovanie a optimalizácia: Lokační úloha*. Přednášky pro studenty. Žilina, [cit. 2013-04-20]. 2008.

<sup>11</sup>DANĚK, Jan a Dušan TEICHMANN. *Optimalizace dopravních procesů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 191 s. [cit. 2013-04-20]. ISBN 80-248-0996-6.



náklady pak souvisejí pouze s provozováním skladů. Při řešení problému dislokace, by sklady představovaly jednotlivá střediska. Na začátku je známo, ve kterých vrcholech jsou střediska umístěna, jde o to rozhodnout, která budou provozována. Pro účel této práce, tedy připadá v úvahu použití *Lokační úlohy*.

Nevýhodou této úlohy pro použití v dislokační úloze, je způsob výpočtu fixních nákladů. Úloha umožňuje rozhodovat pouze o provozování, nebo neprovozování střediska, matice fixních nákladů tedy udává náklady za provoz celého střediska. Fixní náklady v úloze dislokace, se však odvíjejí od počtu vozidel ve středisku odstavených, tzn. čím více vozidel je ve středisku odstavených, tím větší jsou náklady na provoz střediska, tuto podmínku nelze v základní *LU*, která využívá matici kapacit skladů nijak zohlednit. Řešením je rozdělení každého střediska na uzly. Jedno středisko by pak bylo tvořeno počtem uzlů, odpovídajících kapacitě daného střediska. Jeden uzel pak odpovídá jednomu vozidlu a v účelové funkci se tvoří suma fixních nákladů, podle počtu provozovaných uzlů, tedy odstavených vozidel.

Poslední úlohou, se kterou bylo pro řešení problému dislokace uvažováno, je *Dopravní úloha s fixními sazbami* (dále *DUFS*). Tato úloha je podobná předchozím dvěma úlohám, s tím rozdílem, že umožňuje zásobovat jednoho zákazníka z více skladů najednou. V případě dislokace toto však není problém, protože každý ze zákazníků požaduje pouze jedno vozidlo, a není tedy možné jednomu zákazníkovi dodat vozidlo ze dvou skladů současně. Výhodou tohoto modelu je hlavně to, že není třeba střediska rozdělovat na uzly podle kapacit a také to, že pro řešení celého modelu vystačí, v tomto případě, využít jen jednu proměnou.

Z předchozího odstavce je patrné, že nejvýhodnější model pro řešení dislokace, je *DUFS*. Model pro tuto úlohu byl při řešení práce sestaven a následně porovnán, s dalším sestaveným modelem *LU*. Pro oba modely byly vytvořeny dvě verze, které se lišily podobou účelových funkcí. První verze účelových funkcí minimalizovala celkové náklady spojené s prvními jízdami vozidel na směně, druhá verze pak maximalizovala zisk, spojený s těmito jízdami.

Při porovnávání modelů, které se snažily minimalizovat náklady, nebyly zjištěny žádné rozdíly ve výsledcích rozdělení vozidel do středisek a následného přiřazení vozidel zákazníkům. Naopak, byly zjištěny rozdíly ve složitosti výpočtu obou porovnávaných modelů, toto kritérium vyšlo lépe pro model sestavený podle *DUFS*,

počet použitých proměnných, i počet iterací potřebných k výpočtu, byl pro tento model nižší. Je možno konstatovat, že tento model je z hlediska výpočtu rychlejší a méně náročný.

Porovnáním modelů, které maximalizují zisk, byl z hlediska rychlosti a náročnosti modelu zjištěn stejný závěr jako, v předchozím případě. Samotné výsledky rozdělení vozidel do středisek a následně přidělení vozidel zákazníkům, byly u obou modelů totožné.

Nejdůležitější rozdíl a zároveň důvod, proč byl zvolen model podle *LU* je následující. Model sestavený podle *LU* umožňuje, aby vozidlo bylo přiřazeno středisku, ale nebyl mu přidělen na první jízdu zákazník (podrobně popsáno v kapitole 7.2.). Vozidlo tedy zůstane stát ve středisku. Podmínky v modelu sestaveném podle *DUFS*, je možné také upravit tak, aby byl na první jízdu dosazen jen takový počet vozidel, který zajistí výslednou maximální hodnotu zisku. Tento model, ovšem na rozdíl od modelu podle *LU*, není schopen odečítat od zisku náklady, spojené s tím, že vozidlo je v některém středisku odstaveno. S těmito nepřijíženými vozidly vůbec nepočítá, a tím jsou údaje vypočtené účelovou funkcí zkresleny.

Odstavením vozidla ve středisku a nepřidělením mu první jízdy, model umožňuje dispečerovi, aby sám rozhodl, který ze zbylých nabízených zákazníků je pro něj nejdůležitější, a tomu přidělit zbylé vozidlo. Doplněním podmínky, je možné však tuto možnost odstranit a přikázat modelu, aby každé odstavené vozidlo bylo přiřazeno na první jízdu (tato problematika je podrobněji popsána v kapitole 7.2.). Ve zbytku práce se tedy používá model sestavený podle *LU*.

## 5. Tvorba řešícího nástroje

Předtím, než bude přistoupeno k tvorbě matematického modelu, je nutné definovat problém dislokace dopravních prostředků při obsluze požadavků v dopravní síti, jehož řešení je předmětem této práce, v obecné rovině. Jak bylo řečeno v předchozí kapitole, při vytváření matematického modelu, bude vycházeno z obecné *Lokační úlohy* (dále LU). Obecné znění  $LU^{12}$ :

*Je zadána dopravní síť se zákazníky v uzlech  $j \in J$  a s místy  $i \in I$ , v nichž je možno umístit servisní střediska poskytující služby. Jedno středisko umístěné kdekoliv v uzlu z množiny  $I$ , je schopno obsloužit všechny zákazníky. Úloha spočívá v minimalizaci nákladů, které zahrnují investiční náklady  $f_i$  spojené s umístěním střediska v místě  $i$  a dále provozní náklady  $c_{ij}$  spojené s obsluhou zákazníka  $j$  z místa  $i$ . Podmínkou je, že každý zákazník musí být obsloužen, resp. musí být přiřazen některému vybudovanému středisku.*

Úkolem úlohy je rozhodnout, v kterých místech budou umístěna servisní střediska a jak budou jednotliví zákazníci při první jízdě přiřazeni jednotlivým střediskům. Optimalizačním kritériem úlohy, je minimalizovat celkové náklady na provoz systému.

Pro potřebu úlohy dislokace dopravních prostředků, při obsluze požadavků v dopravní síti, však není možné použít matematický model přímo vycházející se zadání LU, je potřeba model modifikovat. Zatímco model obecné LU se snaží obsloužit všechny zákazníky, v sestrojeném modelu bude cílem nepřekročit danou kapacitu vozového parku, na úkor toho, že všichni zákazníci nebudou obslouženi. V této práci byly vytvořeny dva matematické modely, z nichž jeden má za úkol minimalizovat náklady vztažené k první jízdě na směně a druhý model má za úkol maximalizovat zisk z první jízdy na směně. Modely jsou detailně popsány v dalších kapitolách.

---

<sup>12</sup>JANÁČEK, Jaroslav. ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINĚ. *Modelovanie a optimalizácia: Lokační úloha*. Přednášky pro studenty. Žilina, [cit. 2013-04-20]. 2008.

## 5.1 Model minimalizují náklady (I)

### 5.1.1 Popis modelu I

Účelovou funkci (ÚF) optimalizující náklady je možno v základním tvaru formulovat následovně (1).

$$\min(\text{náklady}) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Z_{ij} \cdot d_{ij} + \sum_{i \in I} Y_i \cdot f_i \quad (1)$$

- $Z_{ij}$  ... bivalentní proměnná modelující přiřazení/nepřiřazení zákazníka  $j \in J$  středisku  $i \in I$ . Jestliže  $Z_{ij}=1$ , zákazník  $j \in J$  bude obsloužen ze střediska  $i \in I$ , jestliže  $Z_{ij}=0$ , zákazník  $j \in J$  nebude obsloužen ze střediska  $i \in I$ .
- $d_{ij}$  ... prvek matice představující náklady spojené s jízdou, od zákazníka  $j \in J$  do střediska  $i \in I$ .
- $Y_i$  ... bivalentní proměnná rozhodující o provozování/neprovozování střediska  $i \in I$ . Jestliže  $Y_i=1$ , středisko  $i \in I$  bude provozováno, jestliže  $Y_i=0$  středisko  $i \in I$  nebude provozováno.
- $f_i$  ... konstanta představující fixní náklady spojené s provozováním střediska  $i$ , popřípadě jeho vybudováním.

Funkce uvedená pod označením (1) je základní. Pro potřeby této práce je výhodnější použít upravenou funkci (2).

$$\min(\text{náklady}) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Z_{ij} \cdot c_{ij} \cdot m + \sum_{i \in I} Y_i \cdot f \quad (2)$$

- $c_{ij}$  ... prvek matice představující vzdálenost zákazníka  $j \in J$  středisku  $i \in I$ .
- $m$  ... konstanta představující náklady na ujetí jedné jednotky vzdálenosti.
- $f$  ... jednotkové fixní náklady spojené s odstavením vozidla ve středisku (uzlu), vztažené na jednu směnu provozu.

Informace o postupu, při výpočtu uvedených konstant jsou uvedeny v kapitole 6.

Funkce (2) se skládá ze dvou částí:

- v první části se počítají náklady spojené s jízdou vozidel z jednotlivých středisek k jednotlivým zákazníkům.
- v druhé části se pak počítají náklady, spojené s provozem všech provozovaných středisek, vztažené na jednu směnu provozu.

Účelová funkce, jejíž globální minimum, nebo maximum, se řešením matematického modelu hledá, není jedinou částí modelu. Aby vyhledané řešení bylo přípustné, je nutné formulovat také strukturální podmínky.

Ještě před deklarováním jednotlivých podmínek, je důležité uvést všechny požadavky, které na matematický model, resp. na strukturální podmínky klademe a jaká omezení mají být definována. Jsou to následující omezení:

- rozdělení jen takového počtu vozidel, která jsou k dispozici,
- nepřekročení kapacity střediska,
- každému zákazníkovi přiřadit jen jedno vozidlo,
- nepřisadit zákazníka středisku, které není provozované.

Podmínka nepřekročení kapacity jednotlivých středisek, tedy neumisťování do střediska více vozidel, než je odstavných míst ve středisku, nebude řešena matematicky zapsanou podmínkou. Tato podmínka bude ošetřena tak, že jednotlivá střediska budou rozdělena na uzly. Tzn. každé středisko bude rozděleno na právě tolik uzlů, kolik vozidel je možné ve středisku odstavit. Prakticky to bude provedeno tak, že v matici vzdáleností, bude řádek obsahující vzdálenosti ze střediska k jednotlivým zákazníkům, obsažen právě tolikrát, kolik je v daném středisku odstavných míst, resp. jaká je kapacita střediska.

Každý provozovatel disponuje omezeným množstvím vozidel, tj. kapacitou vozidlového parku, které může do sítě rozdělit a následně v první jízdě využívat. Ze zadání základní lokační úlohy vyplývá, že je cílem obsloužit každého zákazníka. Cílem tohoto modelu není obsloužit každého zákazníka, ale nepřekročit kapacitu vozového parku. Tato podmínka je matematicky zapsána jako (3). Tato podmínka zajistí, abychom na první jízdu nasadili právě tolik vozidel, kolik máme k dispozici.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Z_{ij} = l \quad (3)$$

- $l$  ... kapacita vozového parku.

Dále je potřeba zajistit, aby jednotliví zákazníci byli přiřazováni pouze střediskům, která jsou provozována, v kterých je tudíž nějaké vozidlo k dispozici. To je ošetřeno vazební podmínkou (4).

$$Z_{ij} \leq Y_i \text{ pro } i \in I, j \in J \quad (4)$$

Podmínka funguje následovně:

- Je-li  $Y_i=0$ , což znamená, že středisko není provozováno. Podmínka (4) nastaví proměnou  $Z_{ij}=0$  pro každé  $j \in J$ , odpovídající danému  $i \in I$ . To znamená, že zákazník  $j \in J$  není přiřazen středisku  $i \in I$ , protože středisko  $i \in I$  není provozováno.
- Je-li  $Y_i=1$ , což znamená, že středisko je provozováno. Může podmínka (4) nastavit  $Z_{ij}=1$ . O tom, kterému středisku  $z \in I$  bude přidělen který zákazník  $z \in J$ , rozhoduje tato podmínka spolu s účelovou funkcí. Podmínka (4) v kombinaci s účelovou funkcí ve tvaru minimalizace zajistí, že přidělení jednotlivých zákazníků jednotlivým střediskům bude takové, aby celkové provozní náklady spojené s první jízdou, byly minimální.

Další dvě podmínky spolu souvisí. Vzhledem k tomu, že střediska byla rozdělena na uzly, tudíž každý uzel představuje jedno vozidlo, musí být zajištěno, aby byl každý uzel přidělen jen jednomu zákazníkovi. A podobně, jestliže v jednom uzlu je odstaveno pouze jedno vozidlo, není jeden uzel schopen, první jízdou obsloužit více než jednoho zákazníka.

Podmínka (5), říká, že každý zákazník  $j \in J$ , je přiřazen maximálně jednomu středisku, resp. uzlu,  $i \in I$ .

$$\sum_{i \in I} Z_{ij} \leq 1 \text{ pro } j \in J \quad (5)$$

Podmínka (6), říká, že každé středisko, resp. uzel,  $i \in I$ , při první jízdě, obslouží maximálně jednoho zákazníka z  $j \in J$ .

$$\sum_{j \in J} Z_{ij} \leq 1 \text{ pro } i \in I \quad (6)$$

Pro úplnost je nutné doplnit také definiční obory jednotlivých proměnných, tzv. obligatorní podmínky.

$$Y_i \in \{0,1\} \text{ pro } i \in I \quad (7)$$

$$Z_{ij} \in \{0,1\} \text{ pro } i \in I, j \in J \quad (8)$$

### 5.1.2 Celkový model

Celý matematický model má následující tvar:

$$\min (\text{náklady}) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Z_{ij} \cdot c_{ij} \cdot m + \sum_{i \in I} Y_i \cdot f \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Z_{ij} = l \quad (3)$$

$$Z_{ij} \leq Y_i \text{ pro } i \in I, j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} Z_{ij} \leq 1 \text{ pro } j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} Z_{ij} \leq 1 \text{ pro } i \in I \quad (6)$$

$$Y_i \in \{0,1\} \text{ pro } i \in I \quad (7)$$

$$Z_{ij} \in \{0,1\} \text{ pro } i \in I, j \in J \quad (8)$$

### 5.1.3 Zápis matematického modelu do jazyka MOSEL<sup>13 14</sup>

Realizace výpočtu matematického modelu proběhla v programu XPRESS. Aby program mohl model vypočítat, musel být model nejprve přepsán do programovacího jazyka MOSEL. Model zapsaný v jazyku MOSEL vypadá následovně:

```
model "dislokace_minimalni_naklady"
uses "mmxprs"
declarations
stredisko=1..21
zakaznik=1..12
  n:array(zakaznik) ofreal!pocet vozu u zakazniku cekajici na odvoz
  c:array(stredisko,zakaznik) ofreal!matice vzdalenosti
  Y:array(stredisko) ofmpvar!provoz neprovoz strediska
  Z:array(stredisko,zakaznik) ofmpvar!prirazení stredisko zakazníkovi
end-declarations

forall(i in stredisko)Y(i) is_binary
forall(i in stredisko, j in zakaznik)Z(i,j) is_binary
forall(i in stredisko, j in zakaznik)Z(i,j)<=Y(i)!zakaznik prirazen jen provozovanemu
stredisku

sum(i instredisko, j in zakaznik)Z(i,j)=1!neprekročení kapacity vozového parku
forall(j in zakaznik)sum(i instredisko)Z(i,j)<=1!zakaznik prirazen jen jednomu stredisku
forall(i in stredisko)sum(j in zakaznik)Z(i,j)<=1!stredisko obslouží jen jednoho
zakaznika

naklady:=(sum(i instredisko, j in zakaznik)Z(i,j)*c(i,j)*m)+sum(i in stredisko) f*Y(i)
minimize(naklady)
```

---

<sup>13</sup>Fair Isaac Corporation. Xpress-Mosel Reference manual [online]. Release 2.4. EnglewoodCliffs, USA: Fair Isaac Corporation, 2008 [cit. 2012-11-26]. Dostupné z: [http://www.is.pw.edu.pl/plik/209/mosel\\_lang.pdf](http://www.is.pw.edu.pl/plik/209/mosel_lang.pdf)

<sup>14</sup>Fair Isaac Corporation. Xpress-Mosel User guide [online]. Release 2.4. EnglewoodCliffs, USA: Fair Isaac Corporation, 2008 [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <http://www.is.pw.edu.pl/plik/209/moselug.pdf>



## 5.2 Model maximalizující zisk (II)

### 5.2.1 Popis modelu II

Účelovou funkci optimalizující zisk, je možno formulovat následovně (9).

$$\max f(x) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Z_{ij} \cdot n_j \cdot p \cdot q \cdot 1,15 + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Z_{ij} \cdot c_{ij} \cdot m + \sum_{i \in I} Y_i \cdot f \quad (9)$$

- $Z_{ij}$  ... bivalentní proměnná modelující přiřazení/nepřiřazení zákazníka  $j \in J$  středisku  $i \in I$ . Jestliže  $Z_{ij}=1$ , zákazník  $j \in J$  bude obsloužen ze střediska  $i \in I$ , jestliže  $Z_{ij}=0$ , zákazník  $j \in J$  nebude obsloužen ze střediska  $i \in I$ .
- $n_j$ ... průměrný počet přepravních jednotek připravených u zákazníka k přepravě na začátku směny.
- $p$ ... průměrná přepravní vzdálenost.
- $q$  ... náklady na přepravu jedné přepravní jednotky na jednotkovou vzdálenost.
- $c_{ij}$ ... prvek matice představující vzdálenost, zákazníka  $j \in J$  středisku  $i \in I$ .
- $m$  ... konstanta představující náklady na ujetí jedné jednotky vzdálenosti.
- $Y_i$  ... bivalentní proměnná rozhodující o provozování/neprovozování střediska  $i \in I$ . Jestliže  $Y_i=1$ , středisko  $i \in I$  bude provozováno, jestliže  $Y_i=0$  středisko  $i \in I$  nebude provozováno.
- $f$  ... konstanta představující fixní náklady spojené s provozováním střediska, popřípadě jeho vybudováním.

Funkce se skládá ze tří částí:

- v první části se počítají výnosy spojené s přepravou nákladu, tato přeprava probíhá až po tom, co vozidlo dojde ze střediska k zákazníkovi, výpočet je založen na analýzou získaných průměrných hodnotách jednotlivých konstant.
- v druhé části jsou pak počítány náklady související s přejezdem vozidel z jednotlivých středisek k jednotlivým zákazníkům,

- třetí část vypočítává náklady spojené s provozem všech provozovaných středisek, vztažené na jednu směnu provozu.

Účelová funkce (2) v prvním modelu, měla za úkol minimalizovat náklady, na rozdíl od ní se pomocí účelové funkce v tomto modelu (9) snažíme maximalizovat zisk z první jízdy vozidel na směně. Zisk je vypočítáván jako 15% rentabilita nákladů spojených s první jízdou. Na účelové funkci je patrné, že upřednostňuje zákazníky, u kterých je na začátku směny připraveno větší množství přepravních jednotek, i na úkor toho, že vzdálenost ze střediska k tomuto zákazníkovi je větší. Důvod je prostý, větší přepravené množství znamená vyšší výnosy, a tudíž může být jako optimální řešení zvoleno řešení, při kterém je sice první jízda delší, ale za účelem následného většího zisku.

Účelová funkce, jejíž v tomto případě globální maximum, se řešením matematického modelu hledá, není jedinou částí modelu. Aby vyhledané řešení bylo přípustné, je nutné formulovat také strukturální podmínky.

Ještě před deklarováním jednotlivých podmínek, je důležité uvést všechny požadavky, které na matematický model klademe a jaká omezení mají být definována. Strukturální podmínky jsou to následující:

- rozdělení jen takového počtu vozidel, která jsou k dispozici,
- nepřekročení kapacity střediska,
- každému zákazníkovi přiřadit jen jedno vozidlo,
- nepřisadit zákazníka středisku, které není provozované.

Podmínka nepřekročení kapacity jednotlivých středisek, je v tomto případě, formulována stejně, jako v modelu I.

Každý provozovatel disponuje omezeným množstvím vozidel, tzv. kapacitou vozového parku, které může do sítě rozdělit a následně v první jízdě přiřazovat. Ze zadání základní lokační úlohy vyplývá, že je cílem obsloužit každého zákazníka. Cílem tohoto modelu není obsloužit každého zákazníka, ale nepřekročit kapacitu vozového parku. Tato podmínka je matematicky zapsána jako (10). Je-li  $I$  celkový počet uzlů, tedy

celková kapacita všech středisek, tato podmínka zajistí, abychom do jednotlivých středisek rozdělili právě tolik vozidel, kolik máme k dispozici.

$$\sum_{i \in I} Y_i = l \quad (10)$$

- $l \dots$  kapacita vozového parku

Protože je vyhledáváno globální maximum účelové funkce, model se snaží stanovit hodnotu proměnné  $Z_{ij}=1$ , protože se tím v první řadě zvyšují náklady, čímž se následně zvyšuje i zisk. V tomto případě nemusí být tedy formulovaná podmínka (3).

Dále je potřeba zajistit, aby jednotliví zákazníci byli přiřazováni pouze střediskům, která jsou provozována, v kterých tudíž je nějaké vozidlo k dispozici. To je ošetřeno vazební podmínkou (11). Ta se zároveň v tomto případě stará o to, aby nebyl překročen počet zákazníků, kteří budou obslouženi, vzhledem k počtu vozidel, která jsou k dispozici.

$$Z_{ij} \leq Y_i \text{ pro } i \in I, j \in J \quad (11)$$

Podmínka funguje následovně:

- Je-li  $Y_i=0$ , což znamená, že středisko není provozováno, podmínka (11) nastaví proměnnou  $Z_{ij}=0$  pro každé  $j \in J$ , odpovídající danému  $i \in I$ . To znamená, že zákazník  $j \in J$  není přiřazen středisku  $i \in I$ , protože středisko  $i \in I$  není provozováno.
- Je-li  $Y_i=1$ , což znamená, že středisko je provozováno. Může podmínka (11) nastavit  $Z_{ij}=1$ . O tom, kterému středisku  $z \in I$ , bude přidělen který zákazník  $z \in J$ , rozhoduje tato podmínka spolu s účelovou funkcí. Podmínka (11) v kombinaci s účelovou funkcí zajistí, že celkový zisk spojený s první jízdou, bude maximální.

Další dvě podmínky spolu souvisí, vzhledem k tomu, že střediska byla rozdělena na uzly, tudíž každý uzel, představuje jedno vozidlo. Musí být zajištěno, aby z hlediska první jízdy, byl každý uzel přidělen jen jednomu zákazníkovi. A podobně, jestliže v jednom uzlu je odstaveno pouze jedno vozidlo, není jeden uzel schopen, z hlediska první jízdy, obsloužit více než jednoho zákazníka.

Podmínka (12) říká, že každý zákazník  $j \in J$  je přiřazen maximálně jednomu středisku, resp. uzlu,  $i \in I$ .

$$\sum_{i \in I} Z_{ij} \leq 1 \text{ pro } j \in J \quad (12)$$

Podmínka (13) říká, že každé středisko, resp. uzel,  $i \in I$ , při první jízdě, obslouží maximálně jednoho zákazníka  $z \in J$ .

$$\sum_{j \in J} Z_{ij} \leq 1 \text{ pro } i \in I \quad (13)$$

V modelu je navíc obsaženo rozhodování o tom, zda je vozidlo schopno přepravit od zákazníka v první jízdě všechny přichystané přepravní jednotky, anebo jen jejich část. Toto je provedeno pomocí rozhodovacího cyklu *if*, který jazyk MOSEL umí zpracovat. Cyklus vypadá následovně:

$$\text{když } n_j \geq 40 \text{ pak } n_j = 40 \text{ pro } j \in J \quad (14)$$

Podmínku (14) je možno formulovat následovně. Pokud je počet přepravních jednotek u zákazníka větší než 40, potom je přepraveno pouze 40 přepravních jednotek. Podmínka tedy nedovolí konstantě  $n_j$ , aby nabyla větší hodnoty než 40, a to pro každého zákazníka. Hodnota, v tomto případě 40, může být nastavena různě, např. podle kapacity jednotlivých vozidel (silniční doprava), anebo počtu vozidel, která maximálně můžou tvořit vlak (železniční doprava).

Pro úplnost je nutné doplnit také definiční obory jednotlivých proměnných, tzv. obligatorní podmínky.

$$Y_i \in \{0,1\} \text{ pro } i \in I \quad (15)$$

$$Z_{ij} \in \{0,1\} \text{ pro } i \in I, j \in J \quad (16)$$

### 5.2.2 Celkový model

$$\max f(x) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Z_{ij} \cdot n_j \cdot p \cdot q \cdot 1,15 + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Z_{ij} \cdot c_{ij} \cdot m + \sum_{i \in I} Y_i \cdot f \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I} Y_i = l \quad (10)$$

$$Z_{ij} \leq Y_i \text{ pro } i \in I, j \in J \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I} Z_{ij} \leq 1 \text{ pro } j \in J \quad (12)$$

$$\sum_{j \in J} Z_{ij} \leq 1 \text{ pro } i \in I \quad (13)$$

$$\text{když } n_j \geq 40 \text{ pak } n_j = 40 \text{ pro } j \in J \quad (14)$$

$$Y_i \in \{0,1\} \text{ pro } i \in I \quad (15)$$

$$Z_{ij} \in \{0,1\} \text{ pro } i \in I, j \in J \quad (16)$$

Tabulka č.1: Přehled vytvořených modelů

Název modelu	Popis modelu
Model I	Model minimalizuje náklady.
Model II A	Model maximalizuje zisk.
Model II B	Model maximalizuje zisk a vyžaduje, aby každé vozidlo uskutečnilo první jízdu.

### 5.2.3 Zápis matematického modelu do jazyka MOSEL<sup>15 16</sup>

```
model "dislokace_maximalni_zisk"
uses "mmxprs"
declarations
stredisko=1..21
zakaznik=1..12
  n:array(zakaznik) ofreal!pocety vozu u zakazniku cekajici na odvoz
  c:array(stredisko,zakaznik) ofreal!matice nakladu prijizde ze strediska k zakaznikovi
  Y:array(stredisko) ofmpvar!provoz neprovoz strediska
  Z:array(stredisko,zakaznik) ofmpvar!prirazeni stredisko zakaznikovi
end-declarations

  forall(i in stredisko)Y(i) is_binary
  forall(i in stredisko, j in zakaznik)Z(i,j) is_binary
  forall(i in stredisko, j in zakaznik)Z(i,j)<=Y(i)!zakaznik prirazen jen
provozovanemu stredisku
  sum(i instredisko)Y(i)=l!pocet rozdelovanych lokomotiv
  forall(j in zakaznik)sum(i instredisko)Z(i,j)<=l!zakaznik prirazen jen jednomu
stredisku
  forall(i in stredisko)sum(j inzakaznik)Z(i,j)<=l!stredisko obslouzi jen jednoho
zakaznika

  forall(j in zakaznik)
  if n(j)>=40then n(j):=40
  end-if

  zisk:=(sum(i instredisko,j in zakaznik)Z(i,j)*n(j)*p*q*1.15)-sum(i in stredisko, j in
zakaznik)m*Z(i,j)*c(i,j)-sum(i in stredisko) f*Y(i)
  maximize(zisk)
```

---

<sup>15</sup>Fair Isaac Corporation. Xpress-Mosel Reference manual [online]. Release 2.4. EnglewoodCliffs, USA: Fair Isaac Corporation, 2008 [cit. 2012-11-26]. Dostupné z: [http://www.is.pw.edu.pl/plik/209/mosel\\_lang.pdf](http://www.is.pw.edu.pl/plik/209/mosel_lang.pdf)

<sup>16</sup>Fair Isaac Corporation. Xpress-Mosel User guide [online]. Release 2.4. EnglewoodCliffs, USA: Fair Isaac Corporation, 2008 [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <http://www.is.pw.edu.pl/plik/209/moselug.pdf>

## 6. Analýza vstupních údajů

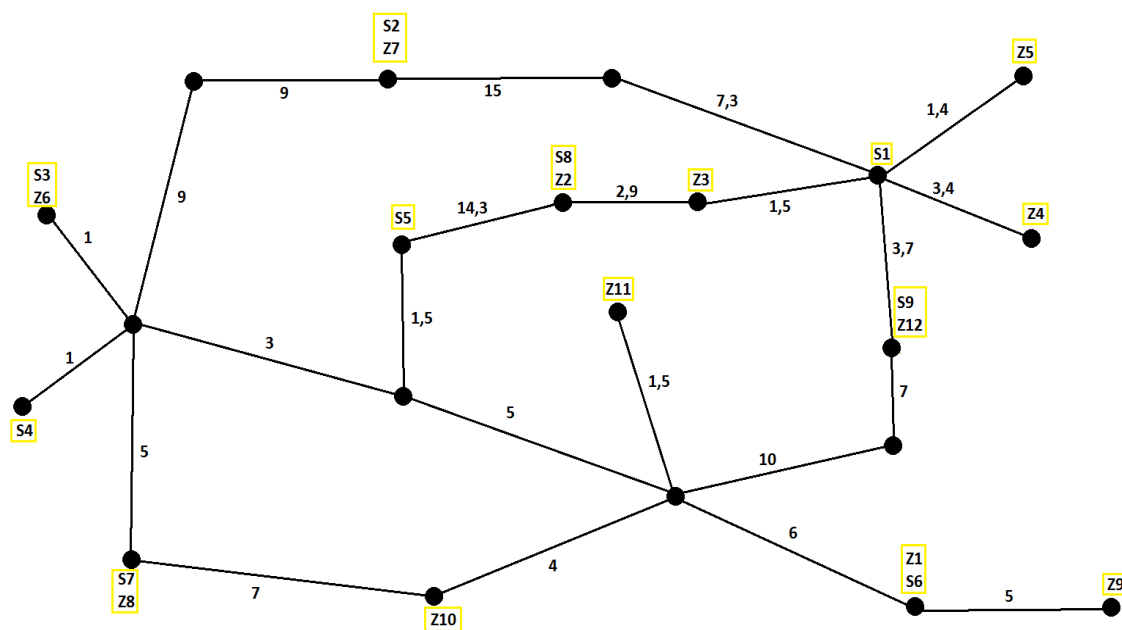
K tomu, aby mohl model pracovat s reálnými daty, bylo zapotřebí tato data získat. Velkou část dat potřebných k dopočítání vstupních konstant poskytla společnost AWT a.s. Ostatní konstanty, které se nedaly pomocí analýz dat získaných z AWT a.s. zjistit, byly určeny pomocí expertního odhadu s podporou postupů analýzy dat publikovaných v odborné literatuře.

V modelu I, který minimalizuje náklady, jsou použity následující konstanty:

- $c_{ij}$  ... matice představující vzdálenost, zákazníka  $j \in J$  středisku  $i \in I$ ,
- $f$  ... konstanta představující fixní náklady spojené s provozováním střediska, popřípadě jeho vybudováním,
- $m$  ... konstanta představující náklady na ujetí jednotky vzdálenosti.

### 6.1 Matice vzdáleností (označení v modelu $c_{ij}$ )

V matici jsou zaznamenány vzdálenosti mezi středisky a zákazníky. Tato matice vychází ze schématu sítě vleček společnosti Advanced World Transport a.s., na kterém je zaznamenána poloha středisek a zákazníků v systému, ve kterém bude pomocí modelu hledáno optimální rozmístění vozidel. Tento systém je reálný, ovšem některé další údaje použité v této práci, jsou obchodním tajemstvím AWT a.s., proto místo reálných označení jednotlivých středisek a zákazníků, jsou použity zkratky.



Obrázek č.3: Mapa systému

**Legenda:**

Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z9, Z10, Z11, Z12 ... zákazníci

S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9 ... střediska

Ohodnocení jednotlivých hran, znázorňují kilometrickou vzdálenost, mezi vrcholy, které daná hrana spojuje. Jestliže je vzdálenost mezi zákazníkem a střediskem rovna nule, znamená to, že v uzlu, ve kterém se nachází zákazník, je rovněž možné odstavit vozidlo, zákazník je tedy zároveň střediskem. Výsledná matice vzdáleností mezi středisky a zákazníky, ve které byly vzdálenosti mezi středisky a zákazníky určovány, vždy jako nejkratší cesta mezi těmito body, vypadá následovně:

Tabulka č.2: Vzdálenosti středisek od zákazníků<sup>17</sup>

Zákazník												
Středisko	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12
<b>S1</b>	26,7	4,4	1,5	3,4	1,4	24,2	24,2	31,7	31,7	24,7	22,2	3,7
<b>S2</b>	32	26,7	23,8	25,7	23,7	19	0	23	37	30	27,5	26
<b>S3</b>	15	19,8	22,7	27,6	25,6	0	19	6	20	13	10,5	26
<b>S4</b>	15	19,8	22,7	27,6	25,9	2	19	6	20	13	10,5	26
<b>S5</b>	12,5	14,3	17,2	22,1	20,1	5,5	19,5	9,5	17,5	10,5	8	22,4
<b>S6</b>	0	26,8	25,2	30,1	28,1	15	32	17	5	10	7,5	23
<b>S7</b>	17	23,8	26,7	35,1	33,1	6	23	0	22	7	12,5	28
<b>S8</b>	36,8	0	2,9	7,8	5,8	19,8	22,5	23,8	31,8	24,8	22,3	5,2
<b>S9</b>	23	8,1	5,2	7,1	5,1	26	26	28	28	21	18,5	0

Jak již bylo řečeno, při popisu modelu, kapacitu jednotlivých středisek zohledníme tak, že každé středisko, které má kapacitu víc než jedno vozidlo, rozdělíme právě na tolik uzlů, kolik vozidel je do něj možno umístit. Kapacity jednotlivých středisek jsou:

<sup>17</sup> ADVANCED WORLD TRANSPORT A.S. Mapa kilometrických vzdáleností v síti OKV. Ostrava, 2006.



Tabulka č. 3: Kapacity středisek

Středisko	Kapacita
S1	5
S2	2
S3	2
S4	2
S5	3
S6	2
S7	1
S8	2
S9	2

Každý řádek matice (tabulka č. 1) zobrazuje vzdálenosti ze střediska k zákazníkovi. Kapacita jednotlivých středisek ve výsledné matici (uvedené v matematickém modelu) se pozná, podle toho, kolikrát je řádek matice, odpovídající jednomu středisku, vložen do výsledné matice. Tzn., je-li kapacita střediska S1=5 vozidel, bude řádek odpovídající středisku S1, vložen do výsledné matice pětkrát.

## 6.2 Fixní náklady (označení v modelu f)

### VODA + TEPLA + ELEKTRICKÁ ENERGIE + NÁJEM

#### VODA:

Tabulka č.4: Kalkulační hodnoty voda

Označení	Popis	Hodnota
s	průměrná spotřeba vody při sprchování	80l/osoba/den
o	ostatní spotřeba (vaření, občerstvení, splachování)	7l/osoba/den
p	průměrný počet osob ve středisku	2 osoby
c	cena 1l vody	0,07156Kč/l
d	počet provozních dnů střediska	365 dní

Průměrná spotřeba vody při sprchování a na ostatní účely, byla zjištěna<sup>18</sup> a cena 1l vody<sup>19</sup>. Průměrný počet osob ve středisku, je roven počtu osob, které obsluhují jedno vozidlo, protože jednotlivá střediska jsou rozdělena na uzly a model počítá s fixními náklady pro každý uzel, tedy pro každé vozidlo.

<sup>18</sup>Spotřeba vody v domácnosti. In: *CenyEnergie* [online]. 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/voda/clanky-2/spotreba-vody-v-domacnosti-tipy-jak-setrit.aspx>

<sup>19</sup>Cena vody 2012. In: *CenyEnergie* [online]. 2012 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/cena-vody-2012-za-m3-zaplatime-71-56-kc.aspx>

$$VODA = p \cdot (s + o) \cdot c \cdot d \quad (17)$$

$$VODA = 2 \cdot (80 + 7) \cdot 0,07156 \cdot 365$$

$$VODA = 4545 \text{ Kč/rok/vozidlo}$$

### TEPLO:

Určení ceny energie, nutné pro vytápění objektů, je složitější, neboť ne všechny střediska, musí být vytápěna stejným způsobem. Proto, aby data byla co nejvíce přesná, byly analyzovány tři způsoby výroby tepla a zjištěna cena 1kWh pro jednotlivé způsoby výroby<sup>20</sup>. Do výpočtu byla použita průměrná hodnota nákladů na jednotlivé způsoby vytápění.

Tabulka č.5: Určení ceny 1kWh tepla

Zdroj tepla	Cena 1kWh
<b>zemní plyn</b> (13,05 Kč/m <sup>3</sup> + paušál)	1,74 Kč
<b>elektrina přímotopná sazba</b> (2,69 Kč/kWh + paušál)	2,93 Kč
<b>centrální zásobování teplem</b> (2,16 Kč/kWh)	2,16 Kč
<b>Průměrná cena</b>	<b>2,28 Kč</b>

Pro výpočet bylo zapotřebí ještě dalších hodnot, průměrné množství tepla, které je zapotřebí pro vytápění 1m<sup>2</sup> plochy, což bylo zjištěno zde<sup>21</sup>. Rozloha objektu byla určena expertním odhadem, jako prostor nutný pro 2 osoby (počet osob potřebných pro obsluhu 1 vozidla).

Tabulka č.6: Kalkulační hodnoty teplo

Označení	Popis	Hodnota
pct	Průměrná cena 1kWh tepla	2,28 Kč/kWh
pst	Průměrná roční spotřeba tepla, vztažená na 1m <sup>2</sup>	150 kW/m <sup>2</sup> .rok
S	Rozloha objektu	20 m <sup>2</sup>

$$TEPLO = S \cdot pc \cdot ps \quad (18)$$

$$TEPLO = 20 \cdot 2,28 \cdot 150$$

$$TEPLO = 6840 \text{ Kč/rok/vozidlo}$$

<sup>20</sup>Náklady na vytápění. *BOMA Milevsko s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.bomamilevsko.cz/naklady\\_na\\_vytapeni.php](http://www.bomamilevsko.cz/naklady_na_vytapeni.php)

<sup>21</sup>Energetické domy – historie. *Delta Panel s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.delta-panel.cz/2006-energeticke-domy-historie/>

## ELEKTRICKÁ ENERGIE:

Obě hodnoty, potřebné k výpočtu spotřeby elektřiny, byly zjištěny zde<sup>22</sup>. Průměrná roční spotřeba je brána, jako spotřeba, za 2 osoby což odpovídá 1 vozidlu.

Tabulka č.7: Kalkulační hodnoty elektrická energie

Označení	Popis	Hodnota
pce	Průměrná cena 1kWh elektrické energie	4,6 Kč/kWh
pse	Průměrná roční spotřeba elektrické energie	2000 kWh/rok

$$ELEKTRICKÁ\ ENERGIE = pce \cdot pse \quad (19)$$

$$ELEKTRICKÁ\ ENERGIE = 4,6 \cdot 2000$$

$$ELEKTRICKÁ\ ENERGIE = 9200\text{ Kč/rok/vozidlo}$$

## NÁJEM:

Ze zdroje<sup>23</sup> byla zjištěna průměrná cena za pronájem 1m<sup>2</sup> nebytových prostor. Rozloha objektu je, stejně jako při výpočtu tepla, brána, jako prostor nutný pro 2 osoby (1 vozidlo).

Tabulka č.8: Kalkulační hodnoty nájem

Označení	Popis	Hodnota
pcn	Průměrná cena nájmu 1m <sup>2</sup>	800 Kč/m <sup>2</sup> /rok
S	Rozloha objektu	20 m <sup>2</sup>

$$NÁJEM = S \cdot pcn \quad (20)$$

$$NÁJEM = 20 \cdot 800$$

$$NÁJEM = 16000\text{ Kč/rok/vozidlo}$$

Součtem těchto čtyř složek, dostáváme celkové roční fixní náklady na odstavení jednoho vozidla ve středisku.

$$CELKOVÉ\ FIXNÍ\ NAKLADY = VODA + TEPLA + ELEKTRICKÁ\ ENERGIE + NÁJEM$$

<sup>22</sup>Velké srovnání dodavatelů elektřiny pro rok 2012. *CenyEnergie* [online]. 2011 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/velke-srovnani-dodavatelu-elektriny-pro-rok-2012.aspx>

<sup>23</sup>CENOVÉ MAPY ČESKÉ REPUBLIKY - 2/2010. In: *Dashofer* [online]. 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.dashofer.cz/download/pdf/ncm2\\_ukazka\\_cenovych\\_map.pdf?wa=WWW13IX](http://www.dashofer.cz/download/pdf/ncm2_ukazka_cenovych_map.pdf?wa=WWW13IX)

Tabulka č.9: Celkové fixní náklady

Složka nákladů	Cena Kč / rok / vozidlo
VODA	4545
TEPLO	6840
ELEKTRICKÁ ENERGIE	9200
NÁJEM	16000
<b>CELKOVÉ FIXNÍ NÁKLADY</b>	<b>36585</b>

Pro potřeby modelu je zapotřebí vyjádřit celkové fixní náklady, vzhledem k jedné směně provozu. Systém je v provozu  $d=365$  dní v roce a každý den proběhnou 2 směny  $sd=2$ . Výpočet celkových fixních nákladů, vztažených na 1 směnu provozu, vypadá tedy následovně:

$$FIXNÍ NÁKLADY NA SMĚNU = \frac{CELKOVÉ FIXNÍ NÁKLADY}{d \cdot sd} \quad (21)$$

$$FIXNÍ NÁKLADY NA SMĚNU = \frac{36\,585}{365 \cdot 2}$$

$$FIXNÍ NÁKLADY NA SMĚNU = 51 \text{ Kč / směna}$$

Fixní náklady na provoz vztažené na jednu směnu jsou 51 Kč.

### 6.3. Náklady na ujetí 1 jednotky vzdálenosti (označení v modelu m)

Vzhledem k tomu, že veškerá data nutná pro vypracování a ověření funkčnosti modelu, byla poskytnuta společností AWT a.s., budou na příkladu použitým v práci, jako vozidla uvažovány železniční vozy.

Pro výpočet těchto nákladů, se v železniční dopravě používá tzv. kalkulační vzorec, který byl popsán v kapitole 3.4. Pomocí tohoto vzorce jsou sečteny všechny náklady, které souvisí s provozem. V tomto případě, jsou fixní náklady související s provozem středisek, počítány zvlášť, tudíž v kalkulačním vzorci bude počítáno pouze s přímými náklady. Tím rozumíme náklady, které přímo vznikají při jízdě vozidla.

Kalkulační vzorec:

$$\text{PHM} + \text{PŘÍMÝ MATERIÁL} + \text{PŘÍMÉ MZDY} + \text{PŘÍMÉ ODPISY} + \text{PŘÍMÉ OPRAVY A ÚDRŽBA} + \text{OSTATNÍ PŘÍMÉ NÁKLADY}$$

Jednotlivé částky, které se do kalkulačního vzorce vyplňují, a které mi byly společností AWT a.s. poskytnuty, patří mezi citlivá data týkající se přímého provozu společnosti, nebudu v práci tudíž jednotlivé položky kalkulačního vzorce rozepisovat,

ale vypíšu jen zaokrouhlenou hodnotu výsledné konstanty nákladů potřebných na ujetí 1km.

$$m=279\text{Kč/km}$$

Model II, který maximalizuje zisk, počítá se všemi konstantami, které byly vypočteny v předchozím textu, navíc však ještě potřebuje další konstanty, které budou odvozeny následně, jedná se o:

- náklady na přepravu jedné přepravní jednotky na jednotku vzdálenosti,
- průměrný počet přepravních jednotek čekajících u zákazníka na převoz na začátku směny.
- průměrná přepravní vzdálenost.

#### 6.4 Náklady na přepravu jedné přepravní jednotky na jednotku vzdálenosti (označení v modelu $q$ )

Konstanta  $q$  určuje, jaké náklady souvisí s přepravou jednoho nákladního vozu na vzdálenost 1km. Výše byla vypočtena konstanta  $m$ , která udává náklady na ujetí 1km hnacím vozidlem.

Pomocí jednoduchého přepočtu, bude konstanta  $m$  vydělena průměrným počtem vozů ve vlaku. Tuto hodnotu, lze stanovit pomocí datového souboru, ze kterého byla čerpána data do kapitoly 2.

Tabulka č.10: Průměrný počet vozů ve vlaku

vozidlo	průměrný počet vozů
1	16
2	24
3	20
4	19
5	16
6	19
7	24
8	26
9	15
10	18
průměr	20

Z tabulky je patrné, že průměrná délka vlaku je 20 vozů. Konstanta  $q$  tedy je:

$$q = \frac{m}{20} = \frac{279}{20} \cong 14Kč \cdot \frac{km}{vuz} \quad (22)$$

### 6.5 Průměrné denní požadavky zákazníků (označení v modelu $n_j$ )

Další ze souborů dat, který společnost AWT a.s., poskytla ve prospěch této práce, byla data, která popisují každodenní objemy přeprav mezi jednotlivými zákazníky. Z těchto dat byly vybrány 3 měsíce z roku 2012, ve kterých byly následně sledovány požadavky jednotlivých zákazníků, na začátku každé směny. Byla zpracována tabulka č.10, ve které jsou zobrazeny průměrné požadavky na začátku směny, pro každého zákazníka v každém měsíci. Roční průměr požadavků pak vznikl jako aritmetický průměr těchto tří sledovaných měsíců. Požadavky jsou udány v počtu železničních vozů, které mají být každý den přepraveny, mezi zákazníky.

Tabulka č.11: Průměrné požadavky zákazníků na začátku směny

Měsíc	duben	červenec	říjen	průměr
Zákazník				
<b>Z1</b>	10	7	12	10
<b>Z2</b>	13	9	16	13
<b>Z3</b>	14	10	17	14
<b>Z4</b>	20	13	24	19
<b>Z5</b>	28	19	33	26
<b>Z6</b>	23	24	21	22
<b>Z7</b>	2	0	2	1
<b>Z8</b>	20	18	21	19
<b>Z9</b>	12	8	15	11
<b>Z10</b>	2	0	2	2
<b>Z11</b>	3	0	6	3
<b>Z12</b>	42	39	36	39

### 6.6 Průměrná vzdálenost mezi jednotlivými zákazníky (označení v modelu $p$ )

Model neuvažuje s tím, kam se přeprava od zákazníka uskutečňuje, ale přiřazuje pouze zákazníka středisku, proto bylo pro výpočet zisku v modelu (II), nutné určit na jakou vzdálenost bude náklad přepraven. K tomu byla provedena analýza, kterou byla zjištěna průměrná vzdálenost mezi jednotlivými zákazníky v síti.

Postup analýzy: nejprve byl vypočten vážený průměr vzdálenosti mezi střediskem a jednotlivými zákazníky podle vzorce (23), kde jako váha jednotlivých zákazníků, sloužily jejich průměrné požadavky, vzorec pro jeho výpočet vypadá následovně:

$$\text{vážený průměr} = \sum_{j \in J} \frac{c_{ij} \cdot n_j}{N} \text{ pro } i \in I \quad (23)$$

$$N = \sum_{j \in J} n_j \quad (24)$$

Kde jsou:

$c_{ij}$ ...vzdálenosti mezi jednotlivými středisky a zákazníky,

$n_j$ ... průměrné požadavky zákazníků na začátku směny.

$N$ ... suma průměrných požadavků všech zákazníků.

Tabulka č.12: Vzdálenost vrcholů

Zákazník	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	vážený průměr [km]
Středisko													
<b>S1</b>	26,7	4,4	1,5	3,4	1,4	24,2	24,2	31,7	31,7	24,7	22,2	3,7	16
<b>S2</b>	32	26,7	23,8	25,7	23,7	19	0	23	37	30	27,5	26	22
<b>S3</b>	15	19,8	22,7	27,6	25,6	0	19	6	20	13	10,5	26	16
<b>S4</b>	15	19,8	22,7	27,6	25,9	2	19	6	20	13	10,5	26	16
<b>S5</b>	12,5	14,3	17,2	22,1	20,1	5,5	19,5	9,5	17,5	10,5	8	22,4	14
<b>S6</b>	0	26,8	25,2	30,1	28,1	15	32	17	5	10	7,5	23	20
<b>S7</b>	17	23,8	26,7	35,1	33,1	6	23	0	22	7	12,5	28	20
<b>S8</b>	36,8	0	2,9	7,8	5,8	19,8	22,5	23,8	31,8	24,8	22,3	5,2	16
<b>S9</b>	23	8,1	5,2	7,1	5,1	26	26	28	28	21	18,5	0	16
průměrná vzdálenost vrcholů													<b>17</b>

Výsledná vzdálenost všech vrcholů, je vypočtena podle vzorce (24), jako aritmetický průměr, jednotlivých vážených průměrů vzdáleností středisek od zákazníků.

Shrnutí všech konstant získaných touto analýzou a potřebných k fungování jednotlivých modelů je uvedeno v tabulce č.12.

Tabulka č.13: Souhrn konstant

Označení v modelu	Popis konstanty	Hodnota
$c_{ij}$	Matice vzdáleností mezi středisky a zákazníky	Matice (21x12)
$f$	Fixní náklady na provoz střediska	51Kč/směna
$m$	Náklady na ujetí 1km HV	279 Kč/km
$q$	Náklady na přepravu 1 vozu na vzdálenost 1km	14 Kč/km/vuz
$n_i$	Matice průměrných požadavků zákazníků	Matice (1x12)
$l$	Počet rozdělovaných vozidel	10
$p$	Průměrná vzdálenost mezi jednotlivými vrcholy	17km

Konstanty zapsané v jazyku MOSEL pak vypadají takto:

$l:=10!$ počet rozdělovaných vozů  
 $f:=51!$ fixní náklady na provoz vuz/směna  
 $m:=279!$ náklady na přepravu na 1km  
 $p:=17!$ průměrná vzdálenost středisek od sebe  
 $q:=14!$ náklady na přepravu jednoho vozu na 1km  
 $c::[26.7,4.4,1.5,3.4,1.4,24.2,24.2,31.7,31.7,24.7,22.2,3.7,$   
 $26.7,4.4,1.5,3.4,1.4,24.2,24.2,31.7,31.7,24.7,22.2,3.7,$   
 $26.7,4.4,1.5,3.4,1.4,24.2,24.2,31.7,31.7,24.7,22.2,3.7,$   
 $26.7,4.4,1.5,3.4,1.4,24.2,24.2,31.7,31.7,24.7,22.2,3.7,$   
 $32,26.7,23.8,25.7,23.7,19,0,23,37,30,27.5,26,$   
 $32,26.7,23.8,25.7,23.7,19,0,23,37,30,27.5,26,$   
 $15,19.8,22.7,27.6,25.6,0,19,6,20,13,10.5,26,$   
 $15,19.8,22.7,27.6,25.6,0,19,6,20,13,10.5,26,$   
 $15,19.8,22.7,27.6,25.9,2,19,6,20,13,10.5,26,$   
 $15,19.8,22.7,27.6,25.9,2,19,6,20,13,10.5,26,$   
 $12.5,14.3,17.2,22.1,20.1,5.5,19.5,9.5,17.5,10.5,8,22.4,$   
 $12.5,14.3,17.2,22.1,20.1,5.5,19.5,9.5,17.5,10.5,8,22.4,$   
 $12.5,14.3,17.2,22.1,20.1,5.5,19.5,9.5,17.5,10.5,8,22.4,$   
 $0,26.8,25.2,30.1,28.1,15,32,17.5,10,7.5,23,$   
 $0,26.8,25.2,30.1,28.1,15,32,17.5,10,7.5,23,$   
 $17,23.8,26.7,35.1,33.1,6,23,0,22,7,12.5,28,$   
 $36.8,0,2.9,7.8,5.8,19.8,22.5,23.8,31.8,24.8,22.3,5.2,$   
 $36.8,0,2.9,7.8,5.8,19.8,22.5,23.8,31.8,24.8,22.3,5.2,$   
 $23,8.1,5.2,7.1,5.1,26,26,28,28,21,18.5,0,$   
 $23,8.1,5.2,7.1,5.1,26,26,28,28,21,18.5,0]$   
 $n::[10,13,14,19,26,22,1,19,11,2,3,39]$



## 7. Experimenty s řešícím nástrojem

V této části práce jsou popsány experimenty, které byly provedeny s modely. S oběma modely byla provedena tzv. citlivostní analýza. Úkolem bylo zjistit, jak se bude model chovat, resp. jak bude rozdělovat jednotlivá vozidla do jednotlivých středisek v závislosti na tom, kolik vozidel bude k dispozici pro rozdělení. Postup byl následující: v modelu byla měněna konstanta, která udává počet rozdělovaných vozidel, (označena  $l$ ), v rozmezí od 12 po 6 vozidel. Pro každou hodnotu z tohoto rozmezí byl spuštěn jeden běh modelu a následně zapsána výsledná data. V níže uvedených tabulkách, jsou uvedeny výsledky jednotlivých experimentů. Pro každou hodnotu konstanty  $l$ , reprezentující počet rozdělovaných vozidel, je v tabulce jeden řádek s výsledky dislokace. V každém sloupci, reprezentujícím středisko, je pak pomocí značení Z1-Z12, zapsáno, které zákazníky dané středisko obsluží. Součet zákazníků, zapsaných u jednotlivých středisek udává, počet vozidel odstavených v tomto středisku.

### 7.1 Experimenty s modelem I

Tento model minimalizuje náklady, v následující tabulce jsou zapsána data získaná při citlivostní analýze tohoto modelu.

Z tabulky č. 13 je patrné, že s klesajícím počtem rozdělovaných vozidel, klesají také náklady, které souvisí s první jízdou na směně. Náklady popisuje graf vložený níže. V této tabulce, bylo spíše účelem sledovat to, zda se bude nějak měnit rozmístění vozidel do středisek, vzhledem k jejich počtu. Z tabulky je patrné, že model rozděluje vozidla stále do stejných středisek, jen s ubývajícím počtem vozidel, ubývá nejprve počet vozidel ve střediscích a následně i počet provozovaných středisek. Z hlediska rozmístění vozidel do středisek, je vidět, že model ani v jednom případě neumístil do střediska S4 žádné vozidlo. Je tedy možné konstatovat, že poloha střediska S4 je z hlediska první jízdy na směně nejméně výhodná a umístění vozidla v tomto středisku, může jen zvýšit náklady.

Tabulka č. 14: Závislost nákladů na dislokaci

Středisko										NÁKLADY [Kč]
Počet vozidel	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	
12	Z3,Z4,Z5	Z7	Z6		Z10,Z11	Z1,Z9	Z8	Z2	Z12	8 926,20
11	Z3,Z4,Z5	Z7	Z6		Z11	Z1,Z9	Z8	Z2	Z12	5 945,70
10	Z3,Z4,Z5	Z7	Z6			Z1,Z9	Z8	Z2	Z12	3 662,70
9	Z3,Z4,Z5	Z7	Z6			Z1	Z8	Z2	Z12	2 216,70
8	Z3,Z5	Z7	Z6			Z1	Z8	Z2	Z12	1 217,10
7	Z5	Z7	Z6			Z1	Z8	Z2	Z12	747,60
6		Z7				Z1	Z8	Z2	Z12	306,00

Závislost nákladů na počtu vozidel v síti zobrazuje graf. č.5. Z hlediska logiky je vzestupný průběh křivky grafu jasný, čím větší množství vozidel provozovatel, používá k zajištění provozu v dané síti, tím větší náklady musí vynaložit.

Graf č. 5 Závislost nákladů na počtu vozidel



Dalším faktorem, jenž je vhodné sledovat je, jak velký nárůst nákladů způsobí umístění dalšího vozidla v síti. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 14. Je evidentní, že zatímco navýšení 6 vozidel o jedno nebo navýšení 7 vozidel o jedno způsobí jen malý nárůst nákladů (442 resp. 470 Kč), navýšení 10 vozidel o jedno nebo 11 vozidel o jedno již představuje významný nárůst nákladů (2283 resp. 2981 Kč). Je možno konstatovat, že od počtu 10 vozidel již není efektivní v síti umisťovat další vozidla.

Tabulka č. 15: Nárůst nákladů při umístění dalšího vozidla v dopravní síti

Počet vozidel	Náklady[Kč]	Nárůst nákladů [Kč]
12	8 926,20	x
11	5 945,70	2980,5
10	3 662,70	2283
9	2 216,70	1446
8	1 217,10	999,6
7	747,6	469,5
6	306	441,6

## 7.2 Experimenty s modelem II

Při experimentu s modelem, který maximalizuje zisk, bylo při spuštění programu, kdy mělo být rozděleno 12 vozů, zjištěno, že model sice rozdělí 12 vozů do středisek, ale na první jízdu, přiřadí jen 10 vozidel. Toto je způsobeno tím, že mezi strukturálními podmínkami, je pouze podmínka, která po modelu vyžaduje, aby počet provozovaných středisek (uzlů), byl roven počtu rozdělovaných vozidel. Žádná podmínka nestanovuje, kolik vozidel musí být nasazeno na první jízdu (viz. níže). V dalším textu jsou popsány výsledky pro variantu modelu s použitím této podmínky (dále „A“) i bez ní (dále „B“).

V tabulce č. 14 jsou uvedeny výsledky pro model A, ve kterém nebyla použita výše zmíněná podmínka. U střediska S4, je v prvním a druhé řádce tabulky vidět, že model do něj vložil vozidla, ale pro první jízdu jim nepřiradil žádného zákazníka. Důvodem, bylo to, že neexistuje takový zákazník, jehož přidělení vozidlu by zvýšilo hodnotu účelové funkce. Pro model je výhodnější, z hlediska maximalizace účelové funkce, nechat vozidlo stát ve středisku.

V předchozím textu bylo konstatováno, že středisko S4 je z hlediska své polohy, nejméně výhodné vzhledem k první jízdě, v tomto případě je vidět, že model do střediska vozidla umístil. Důvodem je to, že model těmto vozům nepřirazuje na první jízdě žádného zákazníka a vzhledem k tomu, že fixní náklady na provoz, reprezentuje konstanta, stejná pro všechny střediska (uzly), vložil model tyto nepoužívané vozy do prvního volného střediska (uzlu).

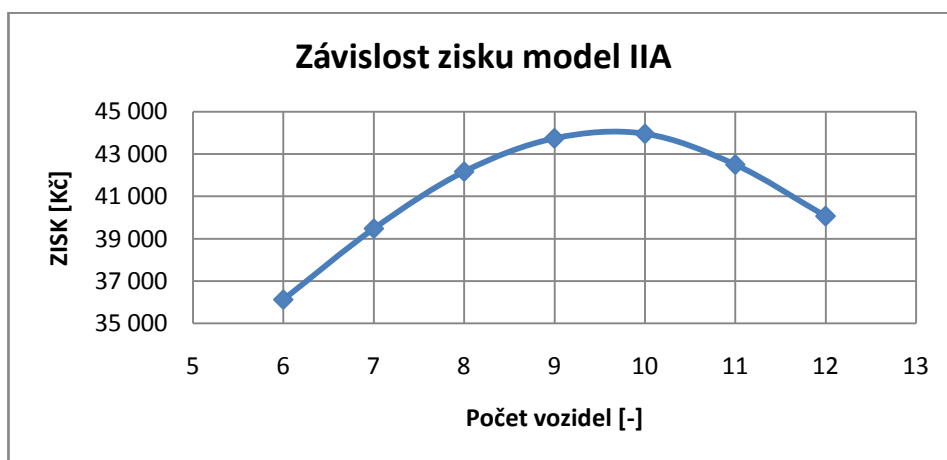
Z hlediska rozdělení vozidel do jednotlivých středisek (uzlů), se model II A i B, chová podobně jako předchozí model, model I.

Tabulka č. 16: Závislost zisku na dislokaci II A

<b>Středisko</b>										
<b>Počet vozidel</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>ZISK [Kč]</b>
<b>12</b>	Z3,Z4,Z5	Z7	Z6	2		Z1,Z9	Z8	Z2	Z12	43 859,10
<b>11</b>	Z3,Z4,Z5	Z7	Z6	1		Z1,Z9	Z8	Z2	Z12	43 910,10
<b>10</b>	Z3,Z4,Z5	Z7	Z6			Z1,Z9	Z8	Z2	Z12	43 961,10
<b>9</b>	Z3,Z4,Z5		Z6			Z1,Z9	Z8	Z2	Z12	43 738,40
<b>8</b>	Z3,Z4,Z5		Z6			Z1	Z8	Z2	Z12	42 173,70
<b>7</b>	Z3,Z4,Z5		Z6				Z8	Z2	Z12	39 487,70
<b>6</b>	Z4,Z5		Z6				Z8	Z2	Z12	36 125,40

Z průběhu grafu č. 6 je vidět, že s rostoucím počtem vozidel zisk roste, ale pouze do počtu 10 rozdělovaných vozidel, kde graf nabývá maxima. Od tohoto bodu začíná zisk mírně klesat, tento pokles je způsoben tím, že při počtu 11 a 12 vozidel, model již těmto vozům nepřidělí zákazníka při první jízdě, důvod byl vysloven výše. Tím že vozidla jsou umístěna ve středisku, tudíž model odečítá od zisku náklady na odstavení těchto dvou vozidel a hodnota zisku mírně klesá.

Graf č. 6: Závislost zisku na počtu odstavených vozidel (model IIA)



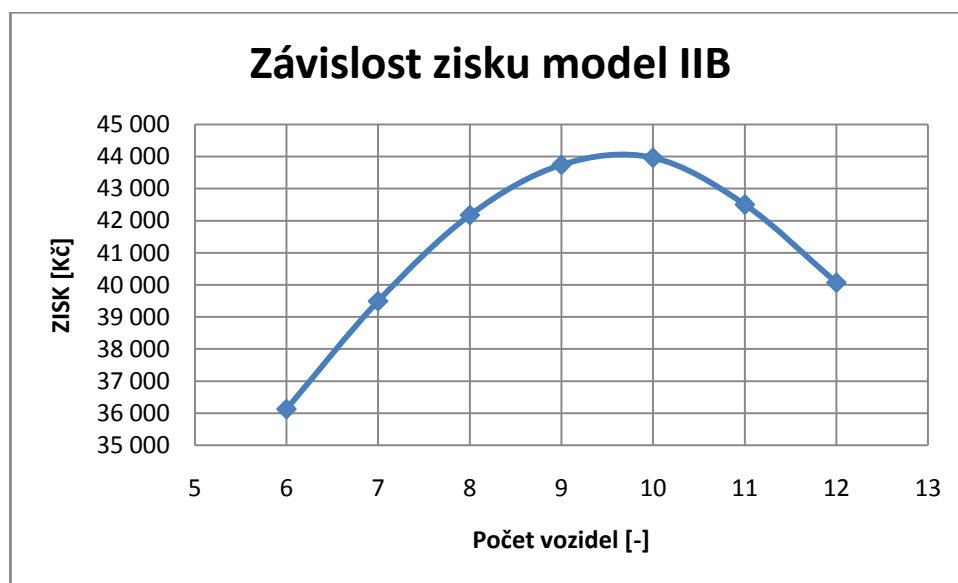
V dalším experimentu byla do modelu II A doplněna podmínka, která říká, že každé vozidlo musí, uskutečnit první jízdu k zákazníkovi, tento model je dále označován jako model II B. Z hlediska rozdělování vozidel do jednotlivých středisek se model chová podobně jako předchozí dvě varianty. S předešlou variantou se liší v tom, že do střediska S4 neumístí žádné vozidla. Tento rozdíl způsobila doplněná podmínka. Už v modelu I, bylo řečeno, že poloha střediska S4 je nejméně výhodná, z hlediska první jízdy na směně. Tento model to jen potvrzuje, neboť středisku ani v jednom případě, nepřidělil žádné vozidlo.

Tabulka č. 17: Závislost zisku na dislokaci IIB

<b>Středisko</b>										
<b>Počet vozidel</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>ZISK [Kč]</b>
<b>12</b>	Z3,Z4,Z5	Z7	Z6		Z10,Z11	Z1,Z9	Z8	Z2	Z12	40 066,10
<b>11</b>	Z3,Z4,Z5	Z7	Z6		Z11	Z1,Z9	Z8	Z2	Z12	42 499,20
<b>10</b>	Z3,Z4,Z5	Z7	Z6			Z1,Z9	Z8	Z2	Z12	43 961,10
<b>9</b>	Z3,Z4,Z5		Z6			Z1,Z9	Z8	Z2	Z12	43 738,40
<b>8</b>	Z3,Z4,Z5		Z6			Z1	Z8	Z2	Z12	42 173,70
<b>7</b>	Z3,Z4,Z5		Z6				Z8	Z2	Z12	39 487,70
<b>6</b>	Z4,Z5		Z6				Z8	Z2	Z12	36 125,40

Podmínka v modelu tedy vyžaduje, aby každé vozidlo uskutečnilo první jízdu. Při porovnání grafů č. 6 a 7, je vidět, že průběhy grafů jsou různé. Tuto rozlišnost způsobuje právě tato doplněná podmínka. Při 6-10 rozdělovaných vozidlech jsou průběhy grafu č. 6 a 7 shodné, zlom nastává při počtu 10 vozidel, podmínka totiž donutí model, aby vozidlům přiřadil zákazníka (na rozdíl od předchozí varianty). Náklady na tuto přepravu, jsou vyšší než je výsledný zisk a proto dojde v porovnání s předchozí verzí k výraznému snížení celkového zisku.

Graf č. 7: Závislost zisku na počtu odstavených vozidel model II B



Z provozního hlediska je výsledek modelu II A méně výhodným, neboť nechávat vozidla stát ve středisku a nepřidělovat jim žádné přepravy je nelogické. Porovnáním oblastí grafů pro 11 a více rozdělovaných vozidel je však model II B méně výhodný, protože zisk zde klesá. Důvody byly vysvětleny výše.

V současném stavu, je v této síti provozováno přesně 10 vozidel. Pro tento počet vozidel nabývá účelová funkce u obou případů A i B maxima. Tento jev se objevil zcela náhodně, jako rozumné vysvětlení se nabízí konstatování, že za dobu po kterou, již je tento systém v provozu, byl vypočítán nejvhodnější počet vozidel, která zvládnou obsloužit požadavky v této síti. Model to potvrdil.

S přihlédnutím k tomu, že model má sloužit jako pomoc dispečerům při rozhodování o dislokaci lokomotiv, bude jako vhodnější model A, ten dispečerovi rozdělí vozidla do jednotlivých středisek a dispečer pak sám rozhodne o využití vozidel, která nebyla modelem přiřazena žádnému zákazníkovi.

## 8. Zhodnocení dosažených výsledků a doporučení

V této kapitole, jsou popsány dosažené výsledky, které jsou porovnány se současným stavem. V současném stavu, se k obsluze této sítě využívá 10 vozidel. Oba dva modely tedy počítaly s počtem rozdělovaných vozidel  $l=10$ .

V tabulce č. 16 je zobrazen počet vozidel, která jsou odstavena v jednotlivých střediscích. V prvním sloupci jsou počty vozidel v jednotlivých střediscích podle současného stavu. Další dva sloupce popisují, jak rozdělily vozidla do středisek modely, jejichž vytvoření bylo cílem této práce. Všechny modely rozdělily vozidla do středisek naprosto stejně. Proto v porovnání bude brán výsledek v těchto dvou sloupcích jako shodný a bude popisován jako výsledek modelu II.

Při porovnání současného stavu a výsledků, kterých dosáhl model I a II, je zřejmé, že modely navrhuji jiné rozdělení vozidel do středisek. V minulé kapitole bylo konstatováno, že středisko S4 je svou polohou nejméně výhodné a to pro oba případy, ať už je cílem maximalizovat zisk, nebo minimalizovat náklady. V současném stavu je vidět, že ve středisku S4 je jedno vozidlo odstavováno. Zřetelně jsou rozdíly mezi rozmístěním vozidel podle současného stavu a podle modelu vidět v tabulce č.17.

Tabulka č. 18: Porovnání výsledků

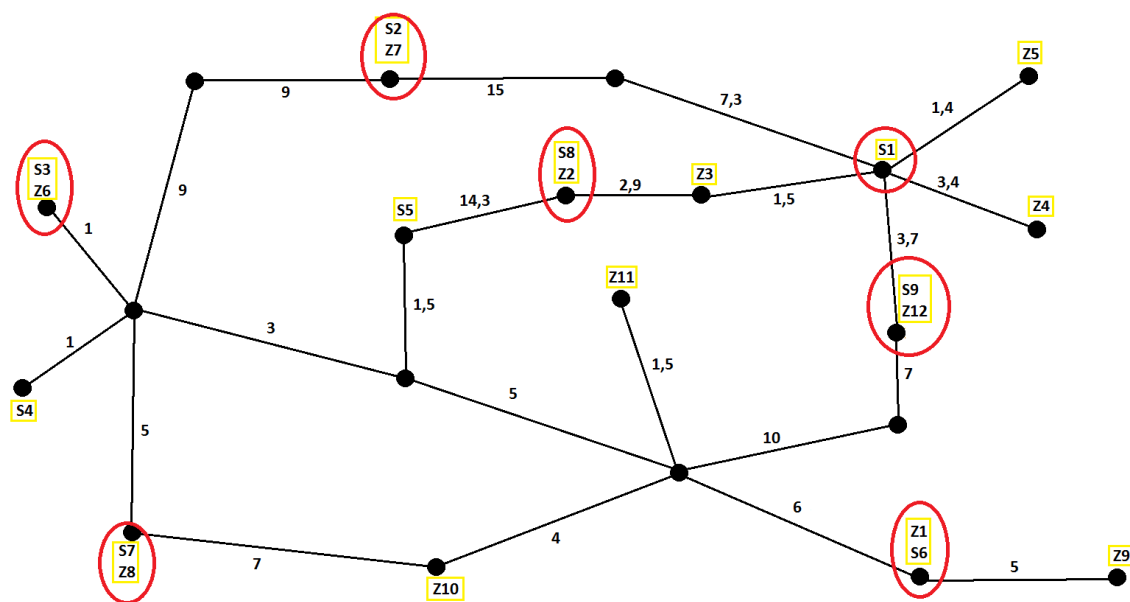
<b>Středisko</b>	<b>Současný stav [počet vozidel]</b>	<b>MODEL ZISK [počet vozidel]</b>	<b>MODEL NÁKLADY [počet vozidel]</b>
S1	4	3	3
S2	1	1	1
S3	1	1	1
S4	1		
S5	1		
S6	1	2	2
S7	1	1	1
S8		1	1
S9		1	1

Tabulka č. 17 ukazuje rozdíl v hodnotách účelových funkcí obou modelů. Hodnoty pro současný stav byly vypočteny pomocí modelu tak, že počet vozidel v jednotlivých střediscích (uzlech) byl do modelu zadán jako konstanta – nebyl určován pomocí rozhodovacích proměnných. Model tedy nerozděloval vozidla do středisek, ale jen vyhledával nejvhodnější zákazníky tak, aby byly náklady co nejnižší a zisk co nejvyšší. Hodnoty odpovídající optimalizovanému stavu byly získány spuštěním modelu, s požadavkem rozdělení 10 vozidel.

Tabulka č.19: Porovnání zisku a nákladů

	ZISK [Kč]	NÁKLADY [Kč]
současný stav	37 755	9 159
optimalizovaný stav	43 961,10	3 662,70

Z hodnot zisků a nákladů uvedených v tabulce jednoznačně vyplývá, že modelem navrhované řešení je výhodnější a pomocí tohoto řešení, bude možno snížit náklady a zvýšit zisk. Je třeba poznamenat, že model počítá jen s první jízdou na směně a nezabývá se tím, jak bude vypadat další provoz na směně. Je však pravděpodobné, že další jízdy se budou dát naplánovat tak, aby poslední jízda na směně skončila co nejbližší středisku, kde má být vozidlo odstaveno, popřípadě přímo ve středisku. Tuto myšlenku potvrzuje i obrázek č. 3, na kterém jsou červenou kružnicí, vyznačena střediska, která navrhuje model jako nově provozovaná. Sedm z devíti provozovaných středisek jsou zároveň zákazníci.



Obrázek č. 4: Provozovaná střediska



## 9. Závěr

Cílem diplomové práce bylo optimalizovat rozmístění dopravních prostředků v dopravní síti. Nejprve však bylo nutné analyzovat současný stav, definovat problém a určit metodu vhodnou pro řešení tohoto problému. Jako vhodná řešící metoda bylo zvoleno lineární programování. V kapitole věnující se tvorbě řešícího nástroje pak vznikly dva matematické modely I a II. Matematický zápis těchto dvou modelů, byl transformován do jazyka MOSEL a v optimalizačním softwaru Xpress – IVE, byly modely vyřešeny pomocí metody větví a mezí a simplexové metody. Velká pozornost byla také věnována získání vstupních údajů pro matematické modely. Pro ověření funkčnosti modelu v reálných podmínkách byla vybrána síť vleček společnosti AWT a.s., výhodou této sítě, je znalost současného stavu rozmístění vozidel a možnost následného porovnání, výsledků se současným stavem.

I přesto, že každý ze dvou vytvořených modelů vypočítává v účelové funkci jiný ekonomický ukazatel, z hlediska rozdělení vozidel do jednotlivých středisek, jsou výsledky stejné. Při realizaci experimentů s modelem II, bylo zjištěno, že model II může fungovat ve dvou různých tvarech, podle toho, zda požadujeme, aby při první jízdě byla využita všechna dostupná vozidla. Nebo některá mohou zůstat odstavena ve středisku.

Dosažené výsledky byly porovnány se současným stavem. Bylo zjištěno, že oba modely navrhnou přesunutí některých vozidel do jiných středisek. Z mapy dopravní sítě, s uvedením dislokace vozidel je patrné, že model umísťuje vozidla do středisek co nejbližší zákazníkům. Porovnáním nákladů vznikajících při první jízdě na směně, je vidět, že rozdělení vozidel podle modelu I umožňuje dosažení snížení nákladů o více než polovinu. Model II pak svým rozdělením vozidel v síti umožňuje zvýšení zisku přibližně o 16%, oproti současnému stavu. Použití metod lineárního programování a předloženého modelu pro řešení praktických problémů, se jeví jako velmi perspektivní.

Nedílnou součástí diplomové práce je elektronický nosič informací DVD, který obsahuje, kromě úplného textu práce, také programy zapsané v jazyku MOSEL.

## 10. Použitá literatura

1. ADVANCED WORLD TRANSPORT A.S. Mapa kilometrických vzdáleností v síti OKV. Ostrava, 2006.
2. Cena vody 2012. In: *CenyEnergie* [online]. 2012 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/cena-vody-2012-za-m3-zaplatime-71-56-kc.aspx>
3. CENOVÉ MAPY ČESKÉ REPUBLIKY - 2/2010. In: *Dashofer* [online]. 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.dashofer.cz/download/pdf/ncm2\\_ukazka\\_cenovych\\_map.pdf?wa=WW13IX](http://www.dashofer.cz/download/pdf/ncm2_ukazka_cenovych_map.pdf?wa=WW13IX)
4. DANĚK, Jan a Dušan TEICHMANN. Optimalizace dopravních procesů. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 191 s. [cit. 2013-04-20]. ISBN 80-248-0996-6.
5. Energetické domy – historie. *Delta Panel s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.delta-panel.cz/2006-energeticke-domy-historie/>
6. Fair Isaac Corporation. Xpress-Mosel Reference manual [online]. Release 2.4. EnglewoodCliffs, USA: Fair Isaac Corporation, 2008 [cit. 2012-11-26]. Dostupné z: [http://www.is.pw.edu.pl/plik/209/mosel\\_lang.pdf](http://www.is.pw.edu.pl/plik/209/mosel_lang.pdf)
7. Fair Isaac Corporation. Xpress-Mosel User guide [online]. Release 2.4. EnglewoodCliffs, USA: Fair Isaac Corporation, 2008 [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <http://www.is.pw.edu.pl/plik/209/moselug.pdf>
8. HERCIK, Jan. Dopravní síť. In: [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: [http://geography.upol.cz/soubory/lide/hercik/GEDP/dopravni\\_sit.pdf](http://geography.upol.cz/soubory/lide/hercik/GEDP/dopravni_sit.pdf)
9. HUŇAŘ, Vladimír. První jízdy dispečerských lokomotiv na směně: analýza pro AWT a.s. Ostrava, 2012, [cit. 2013-01-15]. nepublikováno.
10. Intranet AWT. AdvancedWorld Transport a.s. [online]. 2013. vyd. Ostrava, 2013 [cit. 2013-01-15]. Dostupné z: <http://intranet/awt.eu> (není dostupné z veřejné sítě)
11. JANÁČEK, Jaroslav. ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINĚ. *Modelovanie a optimalizácia: Alokační úloha*. Přednášky pro studenty. Žilina, [cit. 2013-04-20]. 2008.
12. JANÁČEK, Jaroslav. ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINĚ. *Modelovanie a optimalizácia: Lokační úloha*. Přednášky pro studenty. Žilina, [cit. 2013-04-20]. 2008.

13. JANÁČEK, Jaroslav. ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINĚ. *Modelovanie a optimalizácia: Úloha P-centrum*. Přednášky pro studenty. Žilina, [cit. 2013-04-20]. 2008.
14. JANÁČEK, Jaroslav. ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINĚ. *Modelovanie a optimalizácia: Úloha P-median*. Přednášky pro studenty. Žilina, [cit. 2013-04-20]. 2008.
15. Náklady na vytápění. *BOMA Milevsko s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.bomamilevsko.cz/naklady\\_na\\_vytapeni.php](http://www.bomamilevsko.cz/naklady_na_vytapeni.php)
16. Říha, Zdeněk. Kalkulace v dopravě [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav ekonomiky a managementu dopravy a telekomunikací, 2013 [cit. 2013-05-03]. ISBN nezjištěno. Dostupné z: [http://k613.fd.cvut.cz/storage/predmety-soubory/14\\_kalkulace\\_v\\_doprave.ppt](http://k613.fd.cvut.cz/storage/predmety-soubory/14_kalkulace_v_doprave.ppt)
17. Spotřeba vody v domácnosti. In: *CenyEnergie* [online]. 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/voda/clanky-2/spotreba-vody-v-domacnosti-tipy-jak-setrit.aspx>
18. ŠEDA, Miloš. Teorie grafů [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky, 2003 [cit. 2013-04-20]. ISBN nezjištěno. Dostupné z: [http://www.uai.fme.vutbr.cz/~mseda/TG03\\_MS.pdf](http://www.uai.fme.vutbr.cz/~mseda/TG03_MS.pdf)
19. ŠMEREK, Michal a Jiří MOUČKA. Ekonomicko - matematické metody [online]. Brno: Univerzita obrany, Katedra ekonometrie, 2008 [cit. 2013-04-20]. ISBN 978-80-7231-526-0. Dostupné z: [http://www.mendelu.org/upload//skripta\\_k\\_predmetu.pdf](http://www.mendelu.org/upload//skripta_k_predmetu.pdf)
20. Velké srovnání dodavatelů elektřiny pro rok 2012. *CenyEnergie* [online]. 2011 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/velke-srovnani-dodavatelu-elekriny-pro-rok-2012.aspx>

## **11. Seznam tabulek, obrázků a grafů**

### **Seznam tabulek**

Tabulka č.1:Přehled vytvořených modelů

Tabulka č.2: Vzdálenosti středisek od zákazníků

Tabulka č. 3:Kapacity středisek

Tabulka č.4: Kalkulační hodnoty voda

Tabulka č.5: Určení ceny 1kWh tepla

Tabulka č.6: Kalkulační hodnoty teplo

Tabulka č.7: Kalkulační hodnoty elektrická energie

Tabulka č.8: Kalkulační hodnoty nájem

Tabulka č.9:Celkové fixní náklady

Tabulka č.10: Průměrný počet vozů ve vlaku

Tabulka č.11: Průměrné požadavky zákazníků na začátku směny

Tabulka č.12: Vzdálenost vrcholů

Tabulka č.13: Souhrn konstant

Tabulka č. 14: Závislost nákladů na dislokaci

Tabulka č. 15: Nárůst nákladů při umístění dalšího vozidla v dopravní síti

Tabulka č. 16: Závislost zisku na dislokaci II A

Tabulka č. 17: Závislost zisku na dislokaci IIB

Tabulka č. 18: Porovnání výsledků

Tabulka č.19: Porovnání zisku a nákladů

### **Seznam obrázků**

Obrázek č.1: Schéma vleček AWT a.s.

Obrázek č. 2: Mapa vybrané dopravní sítě

Obrázek č.3: Mapa systému

Obrázek č. 4: Provozovaná střediska

## **Seznam grafů**

Graf č.1: Porovnání prvních jízd

Graf č.2: Průměrná délka první jízdy

Graf č.3: Průměrná dopravní práce vykonaná při první jízdě

Graf č.4: Poměr ujetých km

Graf č. 5 Závislost nákladů na počtu vozidel

Graf č. 6: Závislost zisku na počtu odstavených vozidel (model II A)

Graf č. 7: Závislost zisku na počtu odstavených vozidel model II B